

BRIDGESWITCH™를 이용한 하드웨어 기반 모터 고장 보호 기능을 통해 제품 안전 인증 단순화

모터가 내장된 가전 제품은 국제 안전 표준에 정의된 특정 요구 사항을 준수해야 합니다. BridgeSwitch의 통합형 하프 브리지 아키텍처는 페일 세이프 및 중복 구현을 통해 고유한 로우 사이드 및 하이 사이드 사이클별 current limit 보호 기능을 갖추고 있습니다. 따라서 고장 조건을 제어하는 소프트웨어에 의존하지 않고도 비정상적인 작동 조건에서 모터를 보호하는 보호 디바이스로서 작동할 수 있습니다. 모터 보호용 제어 소프트웨어를 사용하지 않아도 안전 준수 프로세스를 크게 단순화하고 단축할 수 있습니다.

WHITEPAPER



STEFAN BAEURLE

소개

BridgeSwitch는 하프 브리지 모터 드라이버 IC로, 로우 사이드 및 하이 사이드 드라이버가 있는 2개의 N채널 파워 FREDFET을 로우 프로파일 표면 실장 패키지에 통합합니다. 일반적인 애플리케이션에는 식기세척기, 냉장고 또는 팬과 같은 가전 제품의 고전압 단일 또는 3상 BLDC(브러쉬리스 DC) 모터 드라이버가 포함됩니다. 각 전원 스위치에는 자체 사이클별 current limit 보호 기능이 제공됩니다(자세한 내용은 [1] 참조). 이 고유한 기능은 디바이스를 보호할 뿐만 아니라 비정상적인 작동 조건에서 인버터와 모터를 보호할 수 있습니다.

일반적으로 고장 보호는 마이크로컨트롤러에 연결된 센싱 회로를 통한 전류 또는 온도 모니터링으로 모터를 관찰하는 것에 의존합니다. 이 경우 고장 조건에서 가전 제품이 안전하게 작동하려면 제어 소프트웨어를 실행하는 마이크로컨트롤러에 의존하게 되므로 국제 안전 표준에 따라 소프트웨어 적합성 인증을 요구합니다. 이는 시간이 오래 걸리고 비용이 많이 드는 프로세스입니다.

반대로 하드웨어 기반 모터 고장 보호는 소프트웨어를 실행하는 마이크로컨트롤러에 의존하지 않습니다. 따라서 초기 제품 릴리스 또는 후속 제품 업데이트에 대한 안전 승인 프로세스를 단순화할 수 있습니다. 다음 단락에서는 가전 제품에 적용할 수 있는 안전 표준의 개요를 제공하고 하드웨어 기반 모터 고장 보호가 BridgeSwitch와 함께 어떻게 작동하는지를 설명하며 레퍼런스 디자인으로 수집된 테스트 결과를 제시합니다.

가전 제품에 대한 안전 표준

IEC 60335-1 표준 "가전 제품 및 유사 전기 제품의 안전성"은 전기 제품에 일반적으로 적용되는 표준입니다 [2]. 기계적 강도 또는 수분이나 열 같은 환경 조건 등 다양한 측면을 규제합니다. 여러 가지 전기 안전 주제에는 절연 조정, 과부하 보호, 누설 전류 또는 과전압이 포함됩니다. 해당 규정의 19 조항은 비정상적인 작동을 처리하는 방법을 다음과 같이 설명합니다. "전자 회로는 고장 조건으로 인해 가전 제품이 감전, 화재 위험, 기계적 위험 또는 위험한 오작동과 관련된 안전하지 않은 상태가 되지 않도록 설계 및 적용되어야 합니다." 인버터 구동 BLDC 모터가 통합된 가전 제품은 표 1과 같이 추가적인 특정 테스트를 거칩니다.

하위 조항	비정상적인 조건
19.7	모터 정지
19.8	위상 분리(다상 모터)
19.9	과부하 실행
19.11	전기 회로의 고장

표 1 IEC 60335-1에 정의된 인버터 구동 BLDC 모터의 비정상적인 조건

모터 정지 테스트의 경우, 로터는 잠겨 있으며 가전 제품은 특정 기간(예: 5분) 또는 정상 조건이 될 때까지 정격 전압에서 작동합니다. 모터 권선 온도는 지정된 권선 절연 등급에 따른 최대 온도를 초과할 수 없습니다(자세한 내용은 [2]의 표 8 참조). (예: 보호 디바이스로 보호되는 경우 클래스 105(A) 권선 절연으로 첫 번째 1시간이 지난 후 150°C)

다상 모터가 있는 가전 제품의 경우, 위상 중 하나가 분리되면 가전 제품은 특정 기간 동안 정격 전압에서 정상적으로 작동합니다. (예: 5분 또는 정상 조건이 될 때까지)

과부하 테스트는 정상 상태 조건에서 정격 전압으로 정상 작동하는 가전 제품으로 시작합니다. 그리고 모터 권선의 전류가 10% 증가하도록 부하가 증가하고 가전 제품은 부하가 다시 정상 상태에 도달할 때까지 작동합니다. 이 단계적 과부하 증가는 보호 디바이스가 방해하거나 모터가 멈출 때까지 반복됩니다. 모터 권선 온도는 최대 온도를 초과할 수 없습니다. (예: 클래스 105(A) 권선 절연의 경우 140°C)

인버터에 사용되는 집적 회로는 단자의 오픈 회로 및 연결된 커패시터의 회로 단락을 비롯한 테스트를 통과해야 합니다. 보호 전자 회로의 경우, 가전 제품이 시작되기 전 또는 가전 제품이 시작된 후 어느 시점에서든 고장 상태가 보호 회로에 적용됩니다. 목표는 가장 불리한 조건을 찾는 것입니다.

IEC 60335-1의 부록 R "소프트웨어 평가"가 특히 중요합니다. IEC 60335-1을 준수하기 위해 고장 조건을 제어하는 소프트웨어가 필요한 프로그래밍 가능한 전자 회로는 IEC 60730-1 부록 H "가정 및 유사 용도의 자동 전기 제어" [3]에 지정된 요구 사항도 충족해야 합니다. 이는 일반적으로 비정상적인 모터 작동 중에 소프트웨어를 실행하는 마이크로컨트롤러에서 보호 기능을 제공하는 모터 드라이브의 경우입니다.

IEC 60730-1 하위 조항 H.2.22는 표 2에 나열된 것과 같이 3가지 고유한 컨트롤 기능 클래스를 정의합니다.

컨트롤 기능	목적
클래스 A	애플리케이션의 안전성에 의존하지 않도록 합니다.
클래스 B	가전 제품의 안전하지 않은 상태를 방지합니다. 컨트롤 기능의 실패가 위험한 상황으로 직접 연결되지 않도록 합니다.
클래스 C	폭발이나 가전 제품에 직접적으로 위험을 초래할 수 있는 고장 등 특수한 위험을 방지합니다.

표 2 IEC 60730-1의 부록 H.2.2에 정의된 컨트롤 기능 클래스

클래스 B 컨트롤 기능은 가전 제품에서 가장 일반적으로 사용됩니다. 비정상적인 작동 중에 안전을 제공하므로 소프트웨어 자체와 소프트웨어를 실행하는 마이크로컨트롤러 모두에 대한 수많은 안전 요구 사항을 준수해야 합니다. 여기에는 클럭, 레지스터, 메모리, ADC, I/O 주변 장치 등 주기적 CPU 자체 테스트 및 구성 요소 모니터링이 포함됩니다(자세한 내용은 IEC 60730-1의 표 H.1 참조 [3]).

IEC60730-1의 부록H.27은 비정상적인 작동을 다루며, 여기에는 H.27.1 하위 조항에 따른 전자 회로 내부 고장에 대한 평가가 포함됩니다. 발생할 수 있는 집적 회로의 고장 모드에는 커패시터 오픈 또는 회로 단락 고장, 단자의 오픈 회로, 인접한 핀 회로 단락이 포함됩니다. 모터 부하가 포함된 가전 제품은 과부하(또는 로터 정지) 테스트를 거치며 여기에는 위에서 설명한 집적 회로의 고장 모드 중 하나가 적용됩니다. 통과 기준에는 화염, 과열 금속 또는 과열 플라스틱 미방출과 폭발 미발생이 있습니다. 마지막으로, IEC60730-1 하위 조항 H.27.1.2는 안전을 보장하기 위해 내부 고장에 대한 보호 요구 사항을 정의합니다. 시스템이 본질적으로 폐일 세이프이거나 안전에 직접적으로 중요한 기능을 가진 구성 요소가 보호 장치에 의해 보호되어야 합니다. 보호 장치는 하드웨어 기반이어야 하며 소프트웨어가 보완할 수 있습니다(자세한 내용은 [3] 참조).

BridgeSwitch를 이용한 하드웨어 기반 모터 고장 보호

BridgeSwitch는 고전압 브러시리스 DC 모터를 구동하도록 설계된 통합형 하프 브리지입니다. 이 제품은 로우 사이드 및 하이 사이드 드라이버가 포함된 두 개의 고전압 N-채널 파워 FREDFET을 로우 프로파일 표면 실장 패키지에 통합합니다.

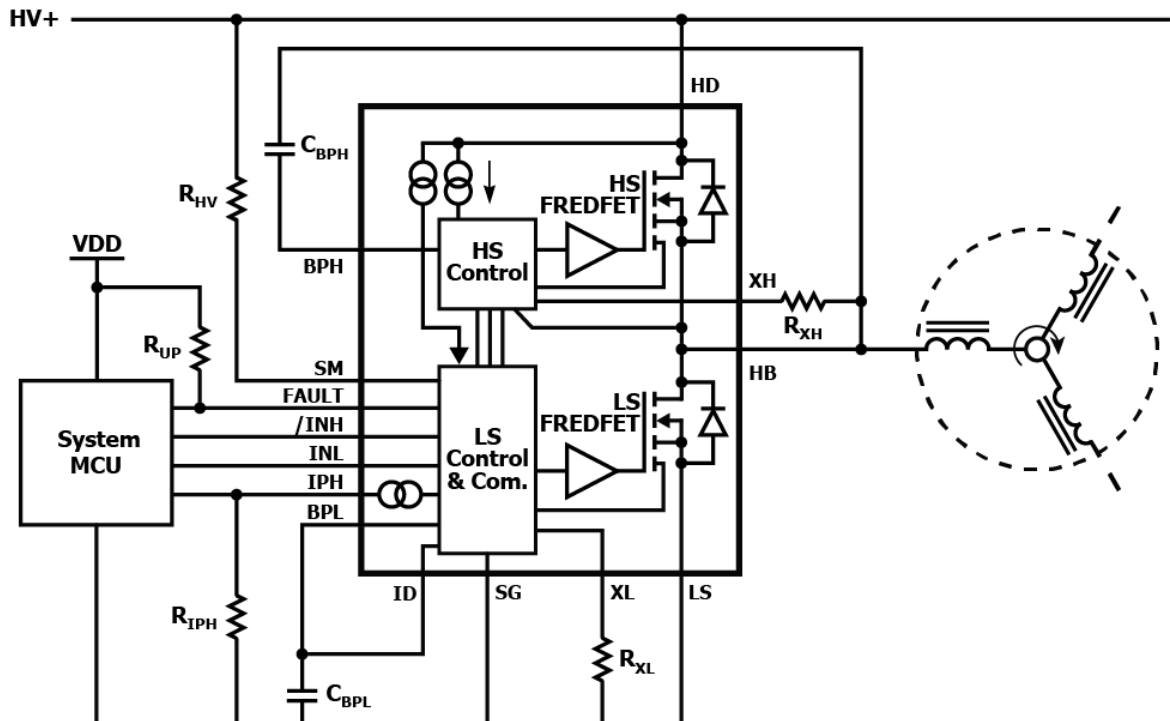


그림 1 BridgeSwitch를 사용하는 일반적인 3상 인버터 모터 드라이브

그림 1은 BridgeSwitch를 사용하는 일반적인 모터 드라이브의 회로도를 나타냅니다. 3개의 BridgeSwitch 디바이스 U1, U2, U3은 BLDC 모터를 구동하는 3상 인버터를 구성합니다(디바이스 U2와 U3은 단순화된 회로도 기호 사용). 각 전원 스위치에는 각각 로우 사이드 또는 하이 사이드 드라이버로 공급되는 SenseFET 출력이 있습니다. 이는 사이클별 current limit 기능을 구현하여 비정상적인 작동 중에 모터를 보호합니다. XL 및 XH 핀에

연결된 저항 R_{XL} 및 R_{XH} 를 사용하면 각 FREDFET에 대해 사이클별 current limit 기준점(threshold)을 개별적으로 설정할 수 있습니다. 파워 FREDFET 전류가 각각의 current limit 기준점(threshold)을 초과하면 디바이스는 파워 FREDFET을 턴오프합니다. 매우 빠르게 턴오프되며 과전류감지에서 턴오프까지 수백나노초밖에 걸리지 않습니다. 각각의 INL 또는 /INH PWM 컨트롤 입력이 턴오프 엣지에 이어 턴온 엣지를 수신할 때까지 디바이스는 꺼져 있습니다.

BridgeSwitch의 current limit 보호 기능은 본질적으로 페일 세이프입니다. 이는 current limit 선택 핀 XL 및 XH를 지속적으로 모니터링합니다. 핀 중 하나에서 회로 단락이 감지되면 각 전력 스위치의 전환을 비활성화합니다. 핀 중 하나가 오픈하게 되면, 각 current limit 기준점(threshold)이 0으로 떨어집니다. 이를 통해 이러한 고장이 발생하는 동안 모터 권선에 전류가 흐르지 않도록 효과적으로 막을 수 있습니다.

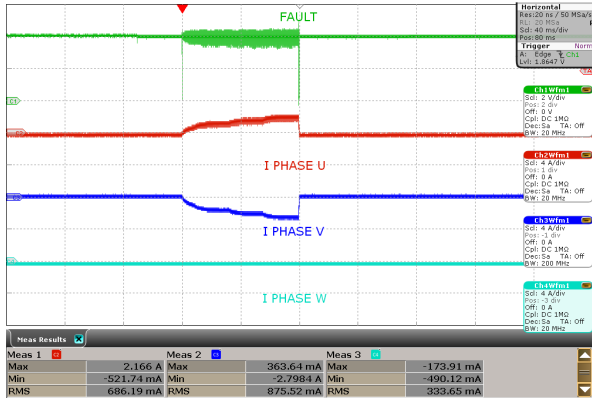
통합형 하프 브리지 아키텍처는 모터 보호에 대한 추가적인 중복 기능을 제공합니다. 항상 모터와 직렬로 연결된 두 개의 BridgeSwitch 디바이스가 있습니다(예: [그림 1](#)의 디바이스 U1과 U2). 하나의 디바이스가 문제가 발생하더라도 자체 과전류 보호 기능을 통해 비정상적인 작동 중에 모터를 보호하는 두 번째 독립 디바이스가 있습니다.

BridgeSwitch는 FAULT 인터페이스를 통해서 과전류 고장 또는 current limit 기준점(threshold) 선택 핀의 고장을 시스템 마이크로컨트롤러에 추가로 표시합니다(자세한 내용은 [\[1\]](#) 참조). 리포팅은 독립적이며 모터 보호와 관련된 소프트웨어는 없습니다.

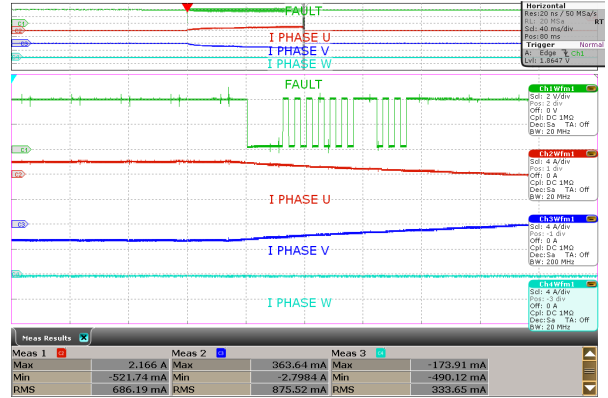
설계 테스트 결과 예제

DER-654는 파워 인테그레이션스(Power Integrations)가 개발한 300W 3상 BridgeSwitch 인버터 레퍼런스 디자인입니다([\[4\]](#)). 비정상적인 작동 조건 중에 인버터는 [표 1](#)에 나열된 모터로 작동하는 가전 제품에 대해 하드웨어 기반 모터 고장 보호 기능을 제공합니다. 이 설계 예제로 수행된 테스트는 12kHz 하이 사이드 PWM의 사다리꼴 제어 및 340V DC 버스 전압에서 작동하는 인버터를 적용합니다.

[그림 2](#)는 잠긴 로터로 가동하려고 할 때의 모터 권선 전류 파형 플롯과 인버터의 FAULT 인터페이스 신호를 나타냅니다. 모터 위상 V를 구동하는 BridgeSwitch 디바이스의 current limit 보호 기능이 작동하고 이후 모든 모터 전류가 0으로 떨어지면 모터 위상 전류가 2.9A까지 증가합니다. 모터가 작동하지 않는 동안 인버터는 이 특정 테스트 조건에서 10분 동안 계속 작동합니다. 테스트 중 또는 이후에 디바이스나 모터가 손상되지 않습니다. FAULT 인터페이스는 과전류 상태를 마이크로컨트롤러에 보고합니다(자세한 내용은 [\[1\]](#) 참조).



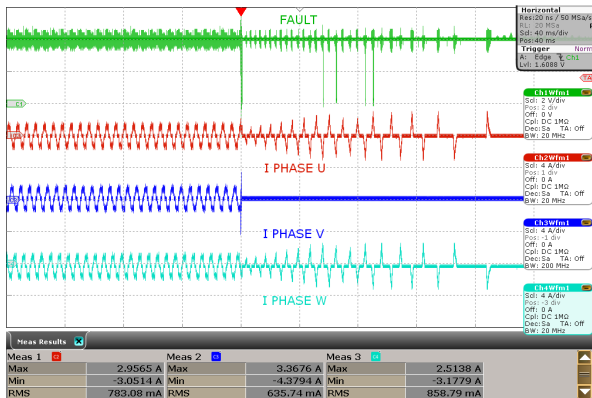
개요, FAULT 인터페이스, 위상 전류 4A/Div., 40ms/Div. 타임스케일



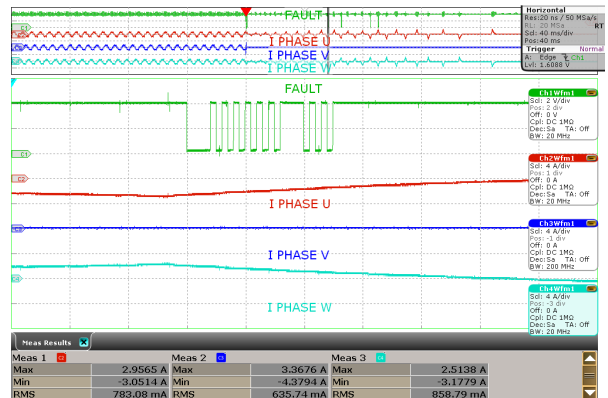
확대/축소 보기, FAULT 인터페이스 위상 전류 4A/Div., 0.1ms/Div. 타임스케일

그림 2 장간 로터로 모터 스타트업

그림 3는 위상 V가 분리된 정상 상태 작동 중의 모터 권선 전류 파형 플롯과 인버터의 FAULT 인터페이스 신호를 나타냅니다. 위상 U 및 W에 대한 전류가 각 디바이스의 current limit 기준점(threshold)에 도달하여 멈출 때까지 모터가 계속비정상적으로 작동합니다. BridgeSwitch는 과전류 고장을 FAULT 인터페이스를 통해 마이크로컨트롤러에 플래그합니다.



개요, FAULT 인터페이스, 위상 전류 4A/Div., 40ms/Div. 타임스케일

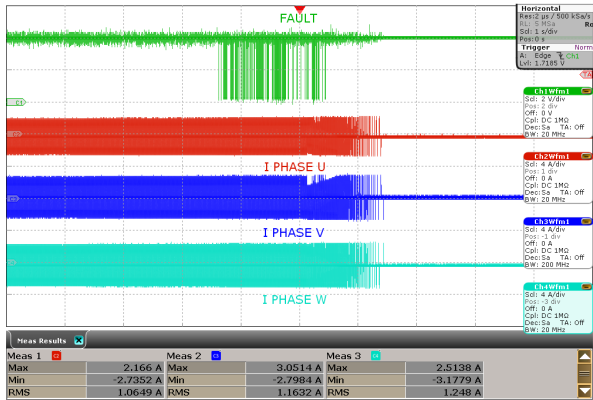


확대/축소 보기, FAULT 인터페이스 위상 전류 4A/Div., 0.1ms/Div. 타임스케일

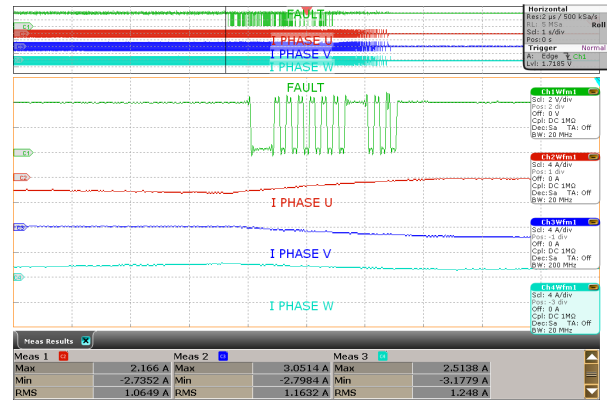
그림 3 분리된 위상 테스트

그림 4는 과부하 테스트 중의 모터 권선 전류 파형 플롯과 FAULT 인터페이스 신호를 나타냅니다. 테스트 시작 시 인버터는 정상 상태에서 300W의 기본 출력 전력을 제공합니다. 그런 다음 모터 권선의 전류가 10% 증가할 때까지 모터 부하가 증가하고 인버터는 다시 정상 상태에 도달할 때까지 작동합니다. 이 단계적 과부하 증가는 모터 권선

전류가디바이스에 설정된 currentlimit기준점(threshold)에도달할 때까지 반복됩니다. 이 예제에서, 세 디바이스 모두에 대해 과전류가 발생하면 각 디바이스는 FAULT 인터페이스를 통해 마이크로컨트롤러에 고장을 나타냅니다. 이 조건에서 10분 동안 작동하면 모터는 디바이스나 모터의 손상 없이 정지합니다.



개요, FAULT 인터페이스, 위상 전류 4A/Div., 1s/Div. 타임스케일



확대/축소 보기, FAULT 인터페이스 위상 전류 4A/Div., 0.1ms/Div. 타임스케일

그림 4 과부하 테스트 실행

UL 정보 보고서

UL은 비정상적인 모터 작동 중에 예제 인버터 디자인 DER-654 [4]와 함께 수집한 테스트 결과를 검토했으며, 이러한 고장 조건을 제어하기 위한 소프트웨어에 의존하지 않고 표 1에 나열된 IEC 6033-51의 비정상적인 모터 작동 요구 사항과 IEC 60730-1 하위 조항 H.27.1을 준수한다는 결론을 내렸습니다. 수행된 검토 결과를 문서화한 UL 정보 보고서 번호 4788685352는 파워인테그레이션스(PowerIntegrations) 웹사이트에서 다운로드할 수 있습니다 [5]. 정보 보고서는 주 보고서와 첨부 파일 네 가지, 총 다섯 부분으로 구성됩니다.

- 테스트 보고서 IEC 60335-1
- 첨부 1: 사진
- 첨부 2: 테스트 결과가 포함된 엔지니어링 보고서 DER-654
- 첨부 3: AN-76 디바이스 레벨 단일 고장 테스트 결과
- 첨부 4: 테스트 보고서 IEC 60730-1

애플리케이션 노트 AN-76에는 IEC 60335-1 하위 조항 19.11 및 IEC 60730-19 하위 조항 H.27.1.1.5(해당하는 경우)에 따른 디바이스 레벨의 단일 고장 테스트 결과가 기록되어 있습니다. 여기에는 모든 핀의 오픈 회로, 인접한 핀 회로 단락, 디바이스 시스템 접지에 대한 로우 사이드 로직 핀 회로 단락, 하프 브리지 연결에 대한 하이 사이드 로직 핀 회로 단락이 포함됩니다.

결론

BridgeSwitch의 페일 세이프 로우 사이드 및 하이 사이드 사이클별 currentlimit기능은 비정상적인 작동 조건에서 인버터와 모터를 보호합니다. 통합형 하프 브리지 아키텍처에는 항상 모터와 직렬로 연결된 두 개의 독립 장치가 있어 추가 보호 기능을 제공합니다. 비정상적인 작동 중 모터 보호는 하드웨어 기반이며 소프트웨어에 의존하지 않습니다. 따라서 BridgeSwitch의 하드웨어 기반 모터 고장 보호를 통해 클래스 A 컨트롤 기능을 사용하여 가전 제품의 안전 인증 프로세스를 크게 단순화할 수 있습니다.

참고 문헌

- [1] "BridgeSwitch 제품군 데이터시트", Power Integrations, Inc., 2019년 10월
- [2] IEC 60335-1 Ed. 5.2, 가전 제품 및 유사 전기 제품에 대한 안전성, IEC, 2016년 5월
- [3] IEC 60730-1 Ed. 5.1, 가정 및 유사 용도의 자동 전기 제어, 2015년 12월
- [4] "DER-654 BridgeSwitch를 사용하는 300W 3상 인버터", 파워 인테그레이션스(Power Integrations), 2019년 5월
- [5] "정보 테스트 보고서 4788685352", UL LLC, 2018년 12월

전 세계 판매 지원 지역

본사

5245 Hellyer Avenue
San Jose, CA 95138 USA

전화 +1 408 414 9200
팩스 +1 408 414 9201

고객 서비스

전화 +1 408 414 9520
이메일 usasales@power.com

미국 동부

7360 McGinnis Ferry Road, Suite 225
Suwanee, GA 30024 USA

전화 +1 678 957 0724
이메일 usasales@power.com

미국 중부

3100 Dundee Road, Suite 204
Northbrook, IL 60062 USA

전화 +1 847 721 6293
이메일 usasales@power.com

중국(상하이)

Room 1601-1603, Charity Plaza
No. 88 North Caoxi Road
Shanghai, China 200030

전화 +86 021 6354 6323
이메일 chinasales@power.com

중국(셴젠)

17/F, Hivac Building, #2
Keji South 8th Road, Nanshan District
Shenzhen, China 518057

전화 +86 755 8672 8689
이메일 chinasales@power.com

독일(AC-DC/LED 판매)

Einsteinring 24
85609 Dornach / Aschheim
Germany

전화 +49 89 5527 39100
이메일 eurosales@power.com

독일(게이트 드라이버 판매)

HellwegForum 1
59469 Ense
Germany

전화 +49 29 3864 39990
이메일 gate-drivers.sales@power.com

인도(방갈로르)

Bangalore 560052 India

전화 1 +91 80 4113 8020
전화 2 +91 80 4113 8028
이메일 indiasales@power.com

인도(뭄바이)

Unit 106-107, Sagar Tech Plaza-B
Sakinaka, Andheri Kurla Road
Mumbai-400072, Maharashtra, India

전화 1 +91 22 4003 3700
전화 2 +91 22 4003 3600
이메일 indiasales@power.com

인도(뉴델리)

#45, Top Floor
Okhla Industrial Area, Phase-III
New Delhi, India
Pin-110020

전화 1 +91 11 4055 2351
전화 2 +91 11 4055 2353
이메일 indiasales@power.com

이탈리아

Via Milanese 20
20099 Sesto San Giovanni (MI)
이탈리아

전화 +39 02 4550 8708
이메일 eurosales@power.com

일본

Yusen Shin-Yokohama 1-chome Building
1-7-9, Shin-Yokohama, Kohoku-ku,
Yokohama-shi, Kanagawa
Japan 222-0033

전화 +81 45 471 1021
이메일 japansales@power.com

대한민국

06164 서울시
강남구 테헤란로 87길 22
6층 602호

전화 + 82 2 2016 6610
이메일 koreasales@power.com

싱가포르

51 Newton Road
#20-01/03 Goldhill Plaza
Singapore 308900

전화 +65 6358 2160

고객 서비스

전화 +65 6356 4480
이메일 singaporesales@power.com

스위스

Johann-Renfer-Strasse 15
2504 Biel/Bienne, Switzerland

전화 +41 32 344 47 47
이메일 gate-drivers.sales@power.com

대만

5F, #318, NeiHu Road, Section 1
Neihu District
Taipei, Taiwan 114, ROC

전화 +886 2 26594570
이메일 taiwansales@power.com

영국

Building 5, Suite 21
The Westbrook Centre
Milton Road, Cambridge CB4 1YG

전화 +44 7823 557484
이메일 eurosales@power.com



파워 인테그레이션스(Power Integrations), 파워 인테그레이션스(Power Integrations) 로고, BridgeSwitch, CAPZero, ChiPhy, CHY, DPA-Switch, EcoSmart, E-Shield, eSIP, eSOP, FluxLink, HiperPLC, HiperPFS, HiperTFS, InnoMux, InnoSwitch, Innovation in Power Conversion, InSOP, LinkSwitch, LinkZero, LYTSwitch, SENZero, TinySwitch, TOPSwitch, PI, PI Expert, SCALE, SCALE-1, SCALE-2, SCALE-3, SCALE-iDriver 및 SCALE-iFlex는 Power Integrations, Inc.의 상표이며, 기타 상표는 각 회사의 재산입니다.

©2019, Power Integrations, Inc.