

通过利用BRIDGESWITCH™基于硬件的电机故障保护特性来简化产品安全认证

装有电机的家用电器需要符合国际安全标准规定的专门要求。BridgeSwitch的集成半桥架构具有独特的下管和上管逐周期限流保护功能，并提供失效保护和冗余实现。因此，它可以充当保护装置，在非正常工作情况下保护电机，而不必依靠软件来控制故障状况。不必依赖控制软件来保护电机可以极大地简化和缩短安全合规过程。

白皮书



简介

BridgeSwitch是半桥电机驱动器IC，它集成了两个N沟道功率FREDFET，并且下管和上管驱动器采用薄型表面贴装封装。典型应用包括洗碗机、冰箱或风扇等家用电器中的高压单相或三相无刷直流(BLDC)电机驱动。每个功率开关都具有自己的逐周期限流保护功能（有关更多详细信息，请参阅[1]）。这种独特的功能不仅可以保护器件自身，还可以在非正常工作条件下为逆变器和电机提供保护。

对于常规技术来说，故障保护依赖于通过连接到微控制器的检测电路监控电机的电流或温度来监测电机。由于在这种情况下，家电设备在故障情况下的安全工作取决于运行控制软件的微控制器，因此国际安全标准要求对软件进行符合性认证。这是耗时且耗费成本的过程。

相反，基于硬件的电机故障保护并不依赖于执行软件的微控制器。因此，它简化了初始产品发布或可能的后续产品更新的安全审批过程。下文将概述家用电器的适用安全标准，说明基于硬件的电机故障保护如何与BridgeSwitch一起工作，并提供通过参考设计所收集的测试结果。

家用电器安全标准

IEC 60335-1标准“家用和类似用途电器的安全”是家用电器的通用标准[2]。它规定了各个方面的规范要求，例如机械强度或环境条件（如湿度或热量）。其中的电气安全主题包括绝缘配合、过载保护、漏电流或过压。该标准第19节规定了如何处理非正常工作条件：“电子电路的设计和应用应避免由于电击、火灾、机械损伤或危险故障而使器具产生不安全。”装有逆变器驱动无刷直流电机的器具还需接受其他特定测试，如表1所示。

小节	非正常工作条件
19.7	电机堵转
19.8	断相（多相电机）
19.9	运行过载
19.11	电路故障

表 1 IEC 60335-1中定义的逆变器驱动无刷直流电机的非正常工作条件

对于电机堵转测试，转子处于锁定状态，器具在额定电压下工作一段时间，例如5分钟或直到建立稳定状态。电机绕组温度不得超过最高温度，这取决于给定的绕组绝缘等级（有关更多详细信息，请参阅[2]中的表8）。例如，如果受到保护装置的保护，则105 (A)级绕组绝缘在第一小时之后的温度为150°C。

对于具有多相电机的器具，其中一相断开，并且器具在正常条件下以额定电压工作一段时间，例如5分钟或直到建立稳定状态。

运行过载测试时，器具首先在额定电压下的正常工作条件下运行，并且建立稳态。负载然后增加，以使电机绕组中的电流增加10%，并且器具开始工作直到再次达到稳态。逐步增加过载，直到保护装置进行干涉或电机堵转为止。电机绕组温度不得超过最高温度。例如，105 (A)级绕组绝缘的温度为140°C。

逆变器中使用的集成电路必须通过多项测试，包括端子开路 and 连接电容短路等测试。对于保护性电子电路，在器具启动之前或器具启动之后的任何时间点，都会向保护电路施加故障条件。目的是找到最不利的条件。

特别重要的是IEC 60335-1的附件R“软件评估”。它要求可编程电子电路（其需要软件来控制故障条件以符合IEC 60335-1的要求）还必须满足IEC 60730-1“家用和类似用途电器的自动电气控制”附件H中规定的要求[3]。对于电机驱动，通常是这种情况，其中运行软件的微控制器会在电机非正常工作期间提供保护。

IEC 60730-1的第H.2.22小节定义了三种不同的控制功能类别，如表2中所列。

控制功能	用途
A类	不用作应用的安全防护
B类	防止器具处于不安全状态。 控制功能故障不会直接导致危险情况。
C类	防止特殊危险， 例如爆炸或其故障可能直接导致器具危险的危险。

表 2 IEC 60730-1附件H.22.2中定义的控制功能类别

B类控制功能最常用于家用电器。由于它在非正常工作期间提供安全防护，因此它必须同时满足执行软件的微控制器和软件本身的一系列安全要求。这包括周期性的CPU自检和元件监测，例如时钟、寄存器、存储器、ADC、I/O外设等（有关详细信息，请参阅IEC 60730-1中的表H.1） [3]。

IEC 60730-1的附件H.27涉及非正常工作，其中包括根据第H.27.1小节对电子电路内部故障的评估。集成电路的可能故障模式包括电容器的开路或短路故障、端子开路以及相邻引脚短路。包括电机负载在内的器具要经受过载（或转子堵转）测试，在这种测试中，施加了上述集成电路的一种可能的故障模式。通过标准包括没有火焰发射、高温金属或高热塑料，也不会发生爆炸。最后，IEC 60730-1的第H.27.1.2小节规定了防止内部故障以确保安全的要求。系统必须本身具有失效保障特点，或者具有直接安全关键功能的元件必须受到防护措施的保护。防护措施必须基于硬件，而软件可以是它们的补充（有关详细信息，请参阅[3]）。

BridgeSwitch基于硬件的电机故障保护

BridgeSwitch采用的是驱动高压无刷直流电机的集成半桥架构。它集成了两个高压N沟道功率FREDFET，并且下管和上管驱动器采用薄型表面贴装封装。

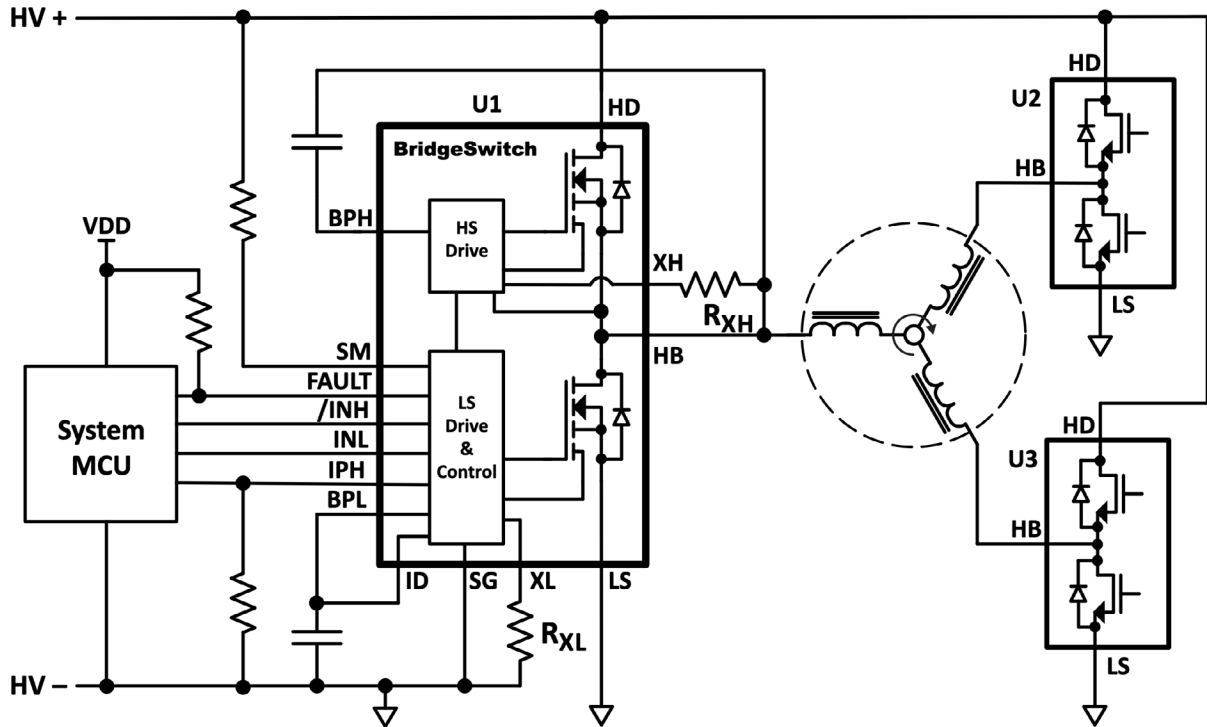


图1 使用BridgeSwitch的典型三相逆变器电机驱动

图1所示为使用BridgeSwitch的典型电机驱动电路原理图。三个BridgeSwitch器件U1、U2和U3构成一个驱动无刷直流电机的三相逆变器（器件U2和U3使用简化的原理图符号）。每个功率开关都有一个SenseFET输出，分别馈入下管或上管驱动器。这样可以实现逐周期限流功能，从而在非正常工作期间保护电机。连接XL和XH引脚的电阻 R_{XL} 和 R_{XH} 允许分别为对应的FREDFET设置逐周期限流阈值。只要功率FREDFET电流超过相应的限流水平阈值，器件就会关断功率FREDFET。关断速度非常快，从过流检测到启动关断仅需要几百纳秒的时间。器件保持关断状态，直到相应的INL或INH PWM控制输入处相继收到关断边沿和导通边沿。

BridgeSwitch的电流限制保护本身具有失效保障特点。它不断监测限流选择引脚XL和XH。如果它检测到其中一个引脚短路，则会禁止相应功率开关的开关。如果其中一个引脚开路，相应的限流阈值将降至零。在这种故障期间，这可以有效地防止任何电流流入电机绕组。

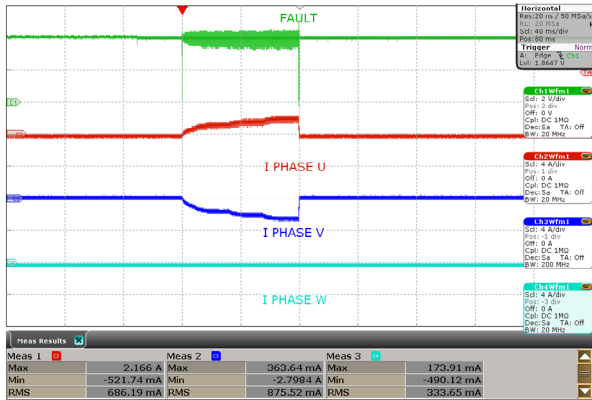
集成半桥架构为电机保护增加了额外的冗余度。始终有两个BridgeSwitch器件与电机串联，例如图1中的器件U1和U2。即使一个器件发生故障，也可以使用另一个独立的器件，该器件可利用自身的过流保护功能在非正常工作期间为电机提供保护。

BridgeSwitch还通过FAULT接口向系统微控制器指示过流故障或与限流阈值选择引脚有关的故障（有关详细说明，请参阅[1]）。请注意，报告是独立进行的，并且在保护电机的过程中不需要任何软件。

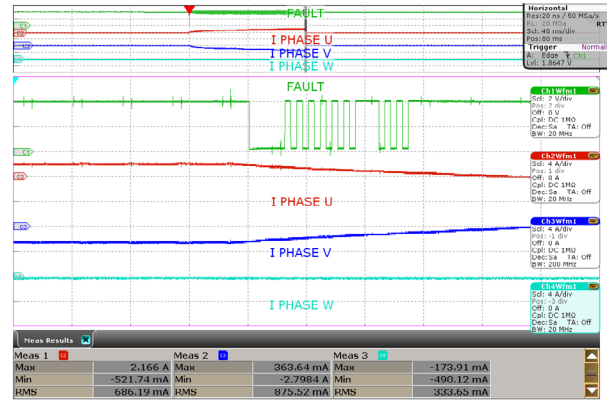
设计范例测试结果

DER-654是Power Integrations开发的300 W三相BridgeSwitch逆变器参考设计[4]。逆变器可在非正常工作条件下提供基于硬件的电机故障保护，特别适用于表1中列出的装有电机的器具。在此设计范例中进行的测试采用具有12 kHz上管PWM的梯形控制，并且其逆变器在340 V直流总线电压下工作。

图2所示为试图在转子锁定时启动的电机绕组电流波形图和逆变器FAULT接口信号。当驱动电机V相的BridgeSwitch器件的限流保护起作用时，电机相电流将上升至2.9 A，随后所有电机电流均降至零。逆变器在此特定测试条件下连续运行10分钟，在此期间电机保持不工作状态。在测试期间或之后，没有器件损坏。FAULT接口将过流情况报告给微控制器（有关详细信息，请参阅[1]）。



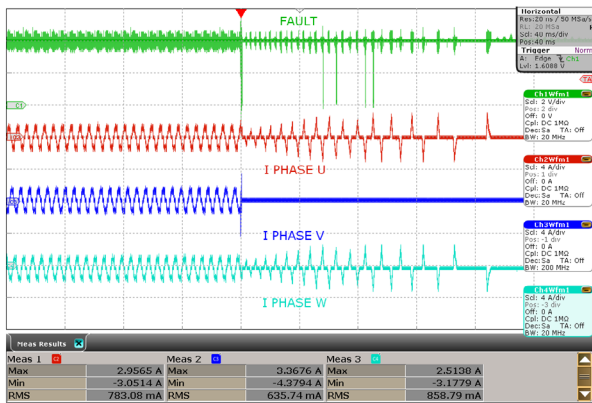
FAULT接口概览，相电流，4 A/格，
40 ms/格时间量程



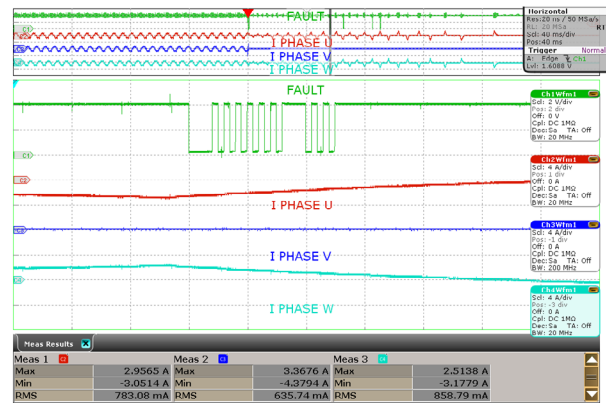
FAULT接口放大图，相电流，4 A/格，
0.1 ms/格时间量程

图2 转子锁定时电机启动

图3所示为V相断开时稳态工作期间的电机绕组电流波形图和逆变器FAULT接口信号。电机继续非正常工作，直到U相和W相的电流达到各自器件的流限阈值，然后停止。BridgeSwitch通过FAULT接口将过流故障标记到微控制器。



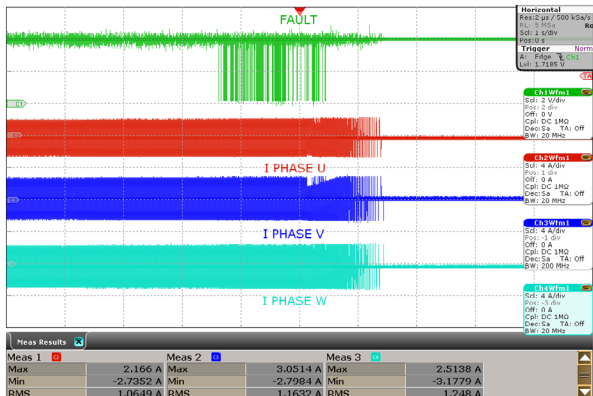
FAULT接口概览，相电流，4 A/格，
40 ms/格时间量程



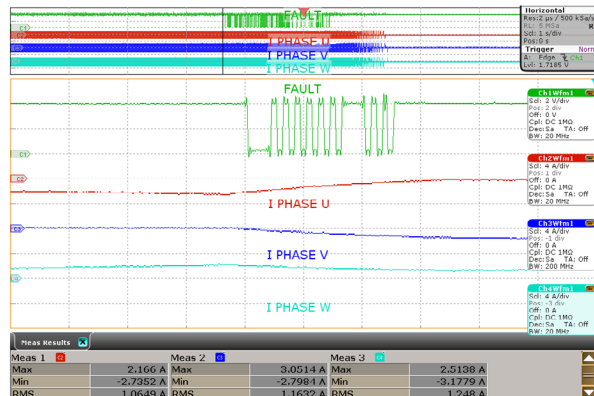
FAULT接口放大图，相电流，4 A/格，
0.1 ms/格时间量程

图3 断相测试

图4所示为运行过载测试期间的电机绕组电流波形图和FAULT接口信号。在测试开始时，逆变器会在稳态下提供默认的300 W输出功率。电机负载然后增加，直到电机绕组中的电流增加10%，逆变器开始工作，直到再次达到稳态为止。逐步增加过载，直到电机绕组电流达到器件的设定流限阈值。在此示例中，过流触发所有三个器件，每个器件均通过FAULT接口向微控制器指示故障。在此条件下工作10分钟后，电机最终将停止工作，而不会造成器件损坏或电机损坏。



FAULT接口概览，相电流，4 A/格，
1 s/格时间量程



FAULT接口放大图，相电流，4 A/格，
0.1 ms/格时间量程

图 4 运行过载测试

UL信息报告

UL评审了逆变器设计范例DER-654 [4] 在电机非正常工作条件下收集的测试结果，并得出结论：该结果符合表1中IEC 6033-51的电机非正常工作要求和IEC 60730-1第H.27.1小节的规定，而无需依靠软件来控制这些故障情况。编号为4788685352的UL信息报告记录了本次评审结果，此报告可从Power Integrations的网站下载[5]。这份信息报告共包括五个部分 - 主体报告和四个附件：

- IEC 60335-1测试报告
- 附件1: 图片
- 附件2: 含测试报告的工程报告DER-654
- 附件3: AN-76器件级单故障测试结果
- 附件4: IEC 60730-1测试报告

应用指南AN-76记录了根据IEC 60335-1第19.11小节和IEC 60730-1 9第H.27.1.1.5小节（如果适用）进行的器件级单一故障测试的结果。这包括所有引脚的开路、相邻引脚短路、下管逻辑引脚对器件系统接地的短路以及上管逻辑引脚对半桥连接的短路。

结论

BridgeSwitch具备失效保障特性的上下管逐周期限流功能可在非正常工作条件下保护逆变器和电机。采用集成半桥架构，始终有两个独立的器件与电机串联，从而可提供额外的冗余。非正常工作条件下的电机保护是基于硬件实现，而不是依赖软件。因此，BridgeSwitch的基于硬件的电机故障保护功能可通过使用A类控制功能来大幅简化家用电器的安全认证过程。

参考文献

- [1] “[BridgeSwitch Family Datasheet](#)”, Power Integrations, Inc., October 2019
- [2] IEC 60335-1 Ed. 5.2, Safety for household appliances and similar electrical appliances, IEC, May 2016
- [3] IEC 60730-1 Ed. 5.1, Automatic electrical controls for household and similar use, December 2015
- [4] “[DER-654 300 W 3-phase Inverter Using BridgeSwitch](#)”, Power Integrations, May 2019
- [5] “[Informative Test Report 4788685352](#)”, UL LLC, December 2018

全球销售支持网络

全球总部

5245 Hellyer Avenue
San Jose, CA 95138 USA

Phone +1 408 414 9200

Fax +1 408 414 9201

Customer Service

Phone +1 408 414 9520

Email usasales@power.com

美国东部

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

Phone +1 678 957 0724

Email usasales@power.com

美国中部

3100 Dundee Road, Suite 204
Northbrook, IL 60062 USA

Phone +1 847 721 6293

Email usasales@power.com

中国 (上海)

徐汇区漕溪北路88号圣爱广场
1601-1603室
上海|中国, 200030

电话 +86 021 6354 6323

电子邮件 chinasales@power.com

中国 (深圳)

南山区科技南八路二号
豪威科技大厦17层
深圳|中国, 518057

电话 +86 755 8672 8689

电子邮件 chinasales@power.com

德国 (AC-DC/LED业务销售)

Einsteinring 24
85609 Dornach / Aschheim
Germany

Phone +49 89 5527 39100

Email eurosales@power.com

德国 (门极驱动器销售)

HellwegForum 1
59469 Ense
Germany

Phone +49 29 3864 39990

Email gate-drivers.sales@power.com

印度 (班加罗尔)

Bangalore 560052 India

Phone 1 +91 80 4113 8020

Phone 2 +91 80 4113 8028

Email indiasales@power.com

印度 (孟买)

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

Phone 1 +91 22 4003 3700

Phone 2 +91 22 4003 3600

Email indiasales@power.com

印度 (新德里)

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

Phone 1 +91 11 4055 2351

Phone 2 +91 11 4055 2353

Email indiasales@power.com

意大利

Via Milanese 20
20099 Sesto San Giovanni (MI)
Italy

Phone +39 02 4550 8708

Email eurosales@power.com

日本

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

Phone +81 45 471 1021

Email japansales@power.com

韩国

Room 602, 6th Floor, #22
Teheran-ro 87-gil, Gangnam-gu
Seoul 06164, Korea

Phone +82 2 2016 6610

Email koreasales@power.com

新加坡

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

Phone +65 6358 2160

Customer Service

Phone +65 6356 4480

Email singaporesales@power.com

瑞士

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

Phone +41 32 344 47 47

Email gate-drivers.sales@power.com

中国台湾

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

Phone +886 2 26594570

Email taiwansales@power.com

英国

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

Phone +44 7823 557484

Email eurosales@power.com

