

藉助 BRIDGESWITCH™ 基於硬體的馬達故障保護，簡化產品安全認證

家用電器只要裝有馬達，就必須符合國際安全標準規定的特定要求。BridgeSwitch的整合式半橋架構採用一套故障保護和備援措施，提供獨特的低壓側和高壓側週期性限電流保護。這可讓BridgeSwitch當作保護裝置，在發生異常運作狀況時保護馬達，而不必依靠軟體來控制故障狀況。由於不必依賴控制軟體來保護馬達，因此能夠大幅簡化並縮短安全合規性流程。

白皮書



簡介

BridgeSwitch 是一款半橋式馬達驅動器 IC，該產品在薄型表面接合封裝中將兩個 N 通道功率 FREDFET 與低壓側和高壓側驅動器整合在一起。典型應用包括家用電器（如洗碗機、冰箱或電扇）中的高壓單相或三相無刷直流 (BLDC) 馬達驅動器。每個功率切換開關皆具有各自的週期性限電流保護（如需詳細資訊，請參閱[1]）。此獨特功能不僅可以保護裝置，還能在發生異常運作狀況時保護變頻器和馬達。

故障保護會依賴對馬達的觀察，習慣上會透過連接到微控制器的感測電路來監控馬達的電流或溫度。由此觀之，電器在發生故障情況時能否安全運作取決於執行控制軟體的微控制器，所以國際安全標準要求對軟體進行合規認證。此流程既耗時又所費不貲。

相反，基於硬體的馬達故障保護完全不必依賴執行軟體的微控制器。因此，可大幅簡化初始產品版本或可能提供的後續產品更新的安全核准流程。以下段落將概述家用電器的適用安全標準，並說明基於硬體的馬達故障保護如何與 BridgeSwitch 搭配使用，還提供所收集之有關參考設計的測試結果。

家用電器的安全標準

IEC 60335-1 標準「家用電器及類似用途電器安全」是電器的通用標準 [2]。此標準針對諸如機械強度或環境條件（例如，濕度或熱度）等多個方面制訂規章。包括絕緣協調、過載保護、漏電流或過壓等多項電氣安全主題。規章的第 19 條說明如何處理異常操作：「電子電路在設計與應用時，應確保故障狀況不會使電器發生觸電、火災、機械危害或危險故障等不安全事故。」採用變頻器驅動 BLDC 馬達的電器，必須通過表 1 中所示的其他特定測試。

子條款	異常狀況
19.7	馬達失速
19.8	斷相（多相馬達）
19.9	執行過載
19.11	電子電路故障

表 1 IEC 60335-1 中定義的變頻器驅動 BLDC 馬達異常狀況

對於馬達失速測試，在轉子處於鎖定狀態下，電器以額定電壓運作一段時間（例如 5 分鐘）或直到達到穩態條

件。馬達繞組溫度不可超過最高溫度，具體取決於給定的繞組絕緣等級(如需詳細資訊，請參閱[2]中的表8)。例如，在受到保護裝置保護的情況下，Class 105 (A) 繞組絕緣第一個小時後的溫度為 150 °C。

對於採用多相馬達的電器，斷開其中一相，讓電器在正常狀態下以額定電壓運作一段時間。例如5分鐘或直到達到穩態條件。

執行過載測試開始時，先讓電器在正常運作情況下以額定電壓運作，直到達到穩態條件。然後增加負載，使馬達繞組的電流上升10%，電器運作直到再次達到穩態。逐步增加過載量，直到保護裝置介入或馬達失速。馬達繞組溫度不可超過最高溫度。例如，Class 105 (A) 繞組絕緣的溫度為 140 °C。

變頻器中使用的積體電路必須通過幾項測試，包括端子的開路和所連接電容器的短路。對於保護電子電路，在電器啟動之前或電器啟動之後的任何時間點，對保護電路施加故障狀況。目的是找出最不利的狀況。

特別重要的是IEC60335-1的附件R「軟體評估」。該附件要求可程式化的電子電路(需要使用軟體來控制故障狀況以符合IEC60335-1的要求)還必須符合IEC60730-1「家用及類似用途自動化電氣控制」[3]的附件H中所規定的要求。對於在馬達運作異常時執行軟體的微控制器提供保護的馬達驅動器來說，通常就是這種情況。

IEC 60730-1 的子條款 H.2.22 定義了三個不同等級的控制功能，如表 2 中所列示。

控制功能	目的
A 級	與應用安全無關的控制功能
B 級	預防電器不安全狀態的控制功能。控制功能失效不會直接導致危險狀況。
C 級	預防特殊危害（例如爆炸或可能直接導致電器發生危險情況的故障）的控制功能。

表 2 IEC 60730-1 之附件 H.2.2.2 中定義的控制功能等級

B級控制功能最常用於家用電器。由於B級控制功能負責在異常運作期間提供安全保護，因此它必須同時滿足執行軟體的微控制器和軟體本身的一系列安全要求。這包括定期的CPU自我測試和元件監控，例如時脈、暫存器、記憶體、ADC、I/O 周邊等（如需詳細資訊，請參閱 IEC 60730-1 中的表 H.1 [3]）。

IEC60730-1的附件H.27涉及異常運作，其中包括根據子條款H.27.1對電子電路內部故障的評估。積體電路的可能故障模式包括電容器的開路或短路故障、端子開路，以及相鄰接腳短路。本身具有馬達負載的電器，都必須經受過載(或馬達失速)測試，在這種測試中，將會施加上述其中一種積體電路的可能故障模式。通過標準包括不會噴射火焰、熱金屬或熱塑膠，並且不會發生爆炸。最後，IEC60730-1的子條款H.27.1.2定義了防止內部故障以確保安全的要求。系統必須具有固有的故障保護功能，或者其功能直接牽涉到安全性的元件受到安全措施保護。安全措施必須以硬體為基礎，而軟體可做為輔助(如需詳細資訊，請參閱 [3])。

BridgeSwitch 基於硬體的馬達故障保護

BridgeSwitch採用整合式半橋架構，專為驅動高壓無刷直流馬達而設計。該產品在薄型表面接合封裝中將兩個高壓 N 通道功率 FREDFET 與低壓側和高壓側驅動器整合在一起。

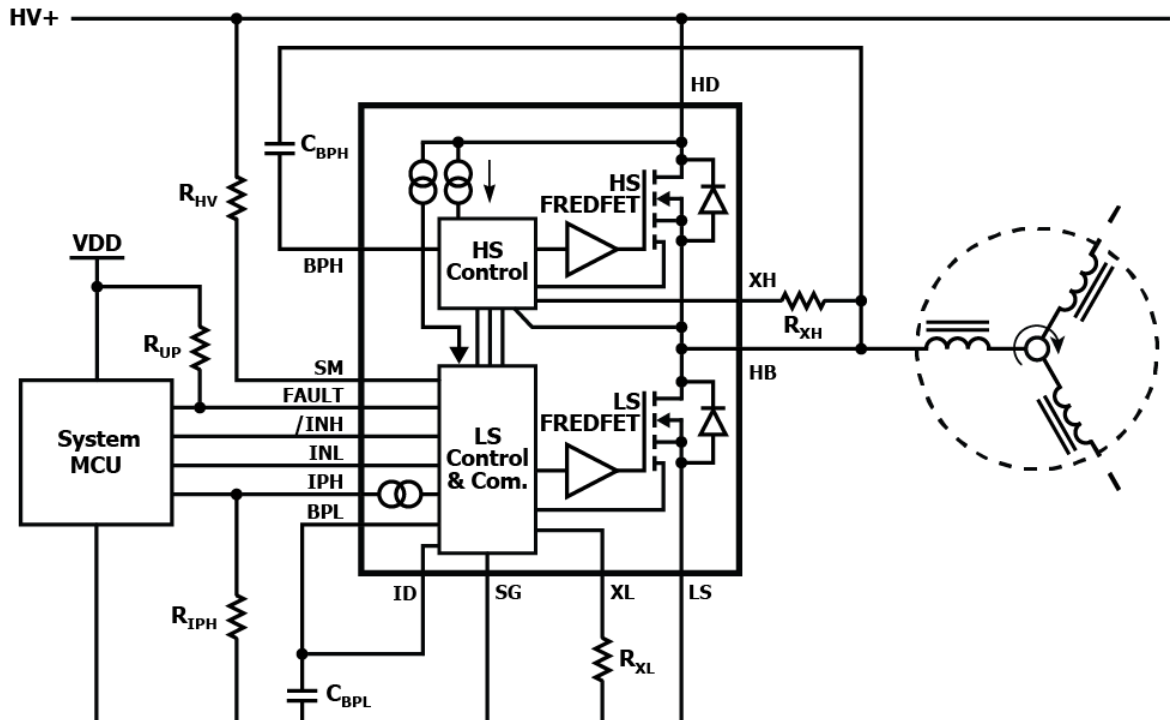


圖 1 採用 BridgeSwitch 的典型 3 相變頻器馬達驅動器

圖 1 說明了採用 BridgeSwitch 的典型馬達驅動器的電路圖。三個 BridgeSwitch 裝置 U1、U2 和 U3 組成一個驅動 BLDC 馬達的 3 相變頻器(裝置 U2 和 U3 使用簡化的電路圖符號)。每個功率切換開關都有一個 SenseFET

輸出，分別饋送至低壓側或高壓側驅動器。這樣做可實現週期性限電流功能，從而在運作異常時保護馬達。連接於 XL 和 XH 接腳的電阻器 R_{XL} 和 R_{XH} ，允許分別設定各個 FREDFET 的週期性限電流臨界值。功率 FREDFET 電流一旦超過各自的限電流等級臨界值，裝置就會關閉功率 FREDFET。關閉速度非常快，從過電流偵測到啟動關閉只需幾百奈秒。裝置保持關閉狀態，直到相應的 INL 或 INHPWM 控制輸入收到關閉邊緣，接著收到開啟邊緣。

BridgeSwitch 的限電流保護是固有的故障保護功能。它會持續監控限電流選擇接腳 XL 和 XH。如果它偵測到其中一個接腳短路，將會停用相應功率切換開關的切換。如果其中一個接腳變成開路，則相應的限電流臨界值將降至零。在此類故障期間，這樣可有效防止任何電流流入馬達繞組。

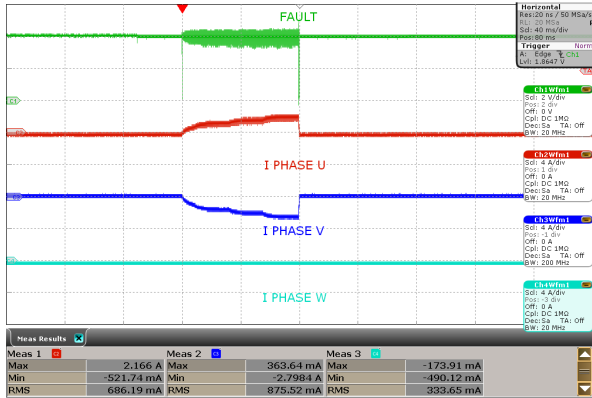
整合式半橋架構為馬達保護增加了額外的冗餘度。始終有兩個 BridgeSwitch 裝置與馬達串聯，例如圖 1 中的裝置 U1 和 U2。即使有一個裝置發生故障，還有第二個獨立的裝置，該裝置會利用其自身的過電流保護功能在異常運作期間保護馬達。

BridgeSwitch 還可透過 FAULT 介面向系統微控制器指示過電流故障或限電流臨界值選擇接腳的故障（若要瞭解詳細說明，請參閱 [1]）。請注意，報告是獨立的，保護馬達不涉及任何軟體。

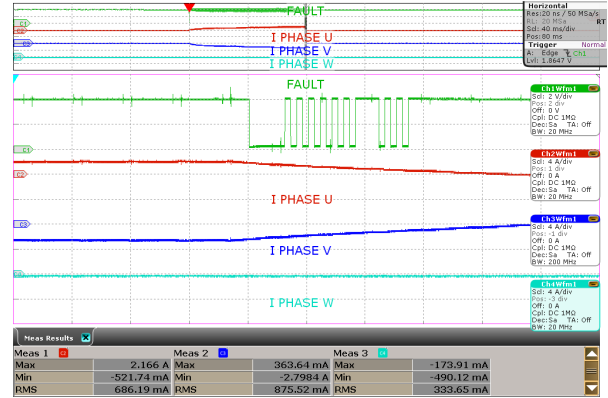
設計範例測試結果

DER-654 是 Power Integrations 所開發的 300 W 3 相 BridgeSwitch 變頻器參考設計 [4]。此變頻器的特點是針對具有表 1 中所列馬達的電器，可在發生異常運作狀況時提供基於硬體的馬達故障保護。對本設計範例所進行的測試應用了具有 12 kHz 高壓側 PWM 的梯形控制，以及在 340 V DC 匯流排電壓下運作的變頻器。

圖 2 說明了嘗試在轉子鎖定時啟動之變頻器的馬達繞組電流波形圖和 FAULT 介面訊號。當驅動馬達相位 V 的 BridgeSwitch 裝置的限電流保護起作用，並且隨後所有馬達電流降至零時，馬達相位電流將上升至 2.9 A。變頻器在此特定測試條件下連續運作 10 分鐘，在此期間馬達保持不運作狀態。在測試期間或之後，裝置或馬達均不會損壞。FAULT 介面會將過電流狀況報告給微控制器（如需詳細資訊，請參閱 [1]）。



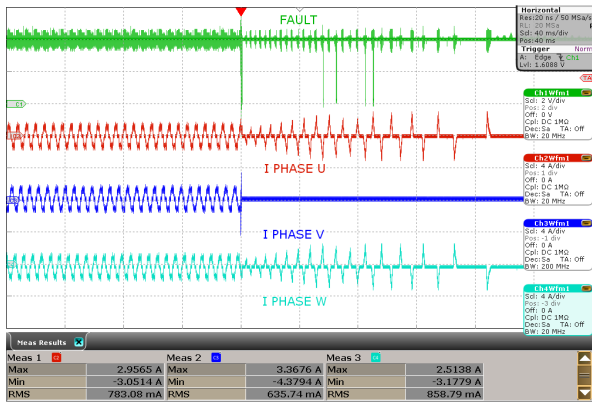
概覽，FAULT 介面相位電流每格 4 A，
每格 40 ms 時間標度



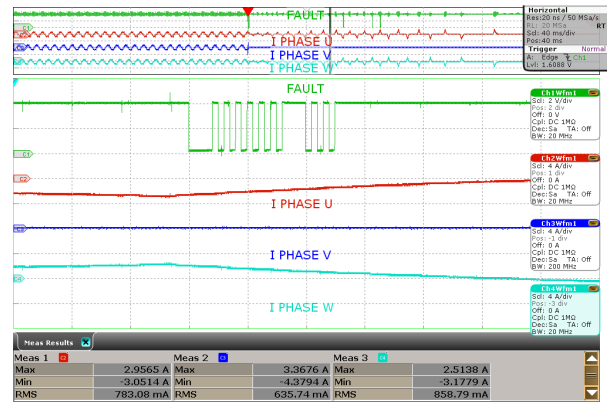
縮放視圖，FAULT 介面相位電流每格 4 A，
每格 0.1 ms 時間標度

圖 2 馬達在轉子處於鎖定狀態下啟動

圖 3 說明了相位 V 斷開時，在穩態運作期間變頻器的馬達繞組電流波形圖和 FAULT 介面訊號。馬達繼續運作異常，直到相位 U 和 W 的電流達到各自裝置的限電流臨界值，然後失速。BridgeSwitch 會標記過電流故障，以透過 FAULT 介面指示給微控制器。



概覽，FAULT 介面相位電流每格 4 A，
每格 40 ms 時間標度

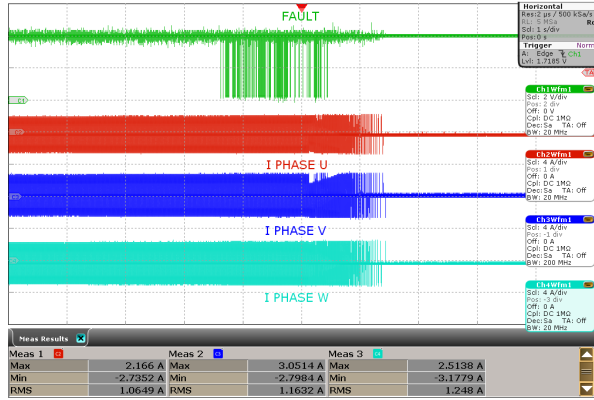


縮放視圖，FAULT 介面相位電流每格 4 A，
每格 0.1 ms 時間標度

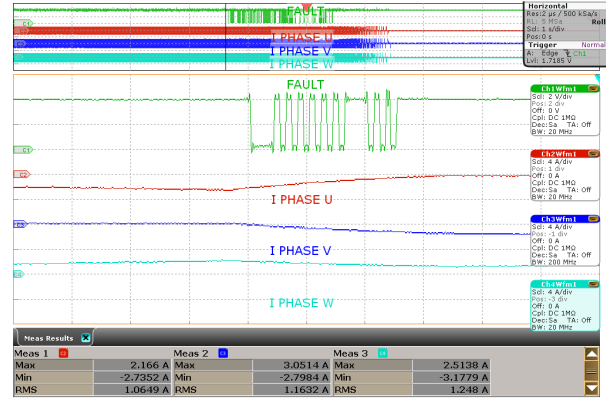
圖 3 斷相測試

圖 4 說明了過載測試執行期間的馬達繞組電流波形圖和 FAULT 介面信號。在測試開始時，變頻器會在穩態下提供 300W 的預設輸出功率。然後增加馬達負載，直到馬達繞組中的電流上升 10%，變頻器開始運作，直到再次達到穩態。逐步增加過載量，直到馬達繞組電流達到為裝置設定的限電流臨界值。在本範例中，全部三個裝置的

過電流觸發器均被觸發，並且每個裝置都透過FAULT介面將故障指示給微控制器。在此條件下運作10分鐘後，馬達最終停止運作，裝置或馬達皆未損壞。



概覽，FAULT 介面相位電流每格 4 A，
每格 1 ms 時間標度



縮放視圖，FAULT 介面相位電流每格 4 A，
每格 0.1 ms 時間標度

圖 4 執行過載測試

UL 資訊報告

UL 審查了所收集的變頻器設計範例 DER-654 [4] 在馬達異常運作期間的測試結果，並據此得出結論：符合表 1 中列出的 IEC 6033-51 和 IEC 60730-1 之子條款 H. 27.1 的馬達異常運作要求，無需依賴軟體來控制這些故障狀況。UL 資訊報告編號 4788685352 記錄了進行審查的結果，可從 Power Integrations 的網站 [5] 下載。這份資訊報告由總共五個部分組成，包括主要報告和四個附件：

- 測試報告 IEC 60335-1
- 附件 1：圖片
- 附件 2：工程報告 DER-654 (含測試結果)
- 附件 3：AN-76 裝置層級單一故障測試結果
- 附件 4：測試報告 IEC 60730-1

應用說明 AN-76 記錄了根據 IEC 60335-1 的子條款 19.11 和 IEC 60730-1 9 的子條款 H. 27.1.1.5 (如果適用) 執行之裝置層級單一故障的測試結果。這包括所有接腳開路、相鄰接腳短路、低壓側邏輯接腳對裝置系統接地短路，以及高壓側邏輯接腳對半橋連接短路。

結論

BridgeSwitch的故障安全低壓側和高壓側週期性限電流功能，可在發生異常運作狀況時保護變頻器和馬達。藉助整合式半橋架構，始終有兩個獨立的裝置與馬達串聯，提供額外的冗餘。異常運作期間的馬達保護基於硬體，而不依賴軟體。因此，BridgeSwitch基於硬體的馬達故障保護功能可透過採用A級控制功能，大幅簡化家用電器的安全認證流程。

參考資料

- [1] 「[BridgeSwitch 產品系列的產品規格型錄](#)」，Power Integrations, Inc.，2019 年 10 月
- [2] IEC 60335-1 Ed. 5.2，「家用電器及類似用途電器安全」，IEC，2016 年 5 月
- [3] IEC 60730-1 Ed. 5.1，「家用及類似用途自動化電氣控制」，2015 年 12 月
- [4] 「[採用 BridgeSwitch 的 DER-654 300 W 3 相變頻器](#)」，Power Integrations，2019 年 5 月
- [5] 「[資訊測試報告 4788685352](#)」，UL LLC，2018 年 12 月

全球銷售支援地點

全球總部

5245 Hellyer Avenue
San Jose, CA 95138 USA

電話 +1 408 414 9200
傳真 +1 408 414 9201

客戶服務

電話 +1 408 414 9520
電子郵件 usasales@power.com

美國 - 東部

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

電話 +1 678 957 0724
電子郵件 usasales@power.com

美國 - 中部

3100 Dundee Road, Suite 204
Northbrook, IL 60062 USA

電話 +1 847 721 6293
電子郵件 usasales@power.com

中國 (上海)

中國上海漕溪北路 88 號
聖愛廣場 1601-1603 室，
郵遞區號：200030

電話 +86 021 6354 6323
電子郵件 chinasales@power.com

中國 (深圳)

中國深圳南山區
科技南八道 2 號路豪威大廈 17 層
郵遞區號：518057

電話 +86 755 8672 8689
電子郵件 chinasales@power.com

德國 (AC-DC/LED 銷售)

Einsteinring 24
85609 Dornach/Aschheim
Germany

電話 +49 89 5527 39100
電子郵件 eurosales@power.com

德國 (開極驅動器銷售)

HellwegForum 1
59469 Ense
Germany

電話 +49 29 3864 39990
電子郵件 gate-drivers.sales@power.com

印度 (班加羅爾)

Bangalore 560052 India

電話 1 +91 80 4113 8020
電話 2 +91 80 4113 8028
電子郵件 indiasales@power.com

印度 (孟買)

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

電話 1 +91 22 4003 3700
電話 2 +91 22 4003 3600
電子郵件 indiasales@power.com

印度 (新德里)

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

電話 1 +91 11 4055 2351
電話 2 +91 11 4055 2353
電子郵件 indiasales@power.com

義大利

Via Milanese 20
20099 Sesto San Giovanni (MI)
Italy

電話 +39 02 4550 8708
電子郵件 eurosales@power.com

日本

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

電話 +81 45 471 1021
電子郵件 japansales@power.com

韓國

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

電話 +82 2 2016 6610
電子郵件 koreasales@power.com

新加坡

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

電話 +65 6358 2160

客戶服務

電話 +65 6356 4480
電子郵件 singaporesales@power.com

瑞士

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

電話 +41 32 344 47 47
電子郵件 gate-drivers.sales@power.com

台灣

114 台灣台北市內湖區
內湖路 1 段
318 號 5 樓

電話 +886 2 26594570
電子郵件 taiwansales@power.com

英國

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

電話 +44 7823 557484
電子郵件 eurosales@power.com



Power Integrations、Power Integrations 標誌、BridgeSwitch、CAPZero、ChiPhy、CHY、DPA-Switch、EcoSmart、E-Shield、eSIP、eSOP、FluxLink、HiperPLC、HiperPFS、HiperTFS、InnoMux、InnoSwitch、InnovationinPowerConversion、InSOP、LinkSwitch、LinkZero、LYTSwitch、SENZero、TinySwitch、TOPSwitch、PI、PIExpert、SCALE、SCALE-1、SCALE-2、SCALE-3、SCALE-iDriver 和 SCALE-iFlex 均為 Power Integrations, Inc. 的商標。其他商標為其各自公司之財產。
©2019, Power Integrations, Inc.