

新概念智能保險絲如何降低汽車電纜線束的成本及重量

本文詳細說明傳統熱熔保險絲的缺點，接著描述新示範電路的運作。它展示創新的高側電流測量如何直接在板子的銅線上進行，以及快速類比過溫和過電流關斷電路，提供了一種簡單、低功耗、低成本和高效能，可取代熱熔保險絲的選擇。

■作者: Martin Jaiser, Manfred Brandl/ 奧地利微電子 (ams)

汽車內的電子、電氣和機電功能的數量穩定成長，為汽車動力系統的設計及運作帶來了許多創新突破。然而，在其中一個領域，汽車仍然停留在技術石器時代：也就是電路保護裝置仍然是選擇採用可熔斷開裝置（保險絲）。

儘管有著許多嚴重缺點，但是汽車業依然採用保險絲，這是因為傳統保險絲有一個非常強大的優勢特性：它的單位成本非常低。

然而，從系統的角度來看，採用更智慧的電子保險絲能享有的可能優點包括降低總成本，以及減輕車輛重量等。現在，奧地利微電子 (ams) 推出了一個參考設計板，向業界介紹一種精確卻簡單的智能保險絲設計概念，透過此參考板，OEM 業者得以評估此概念，進而了解其優勢和成本，並且能在複雜的動力系統中模擬其運作。

傳統保險絲：慢、不方便、很麻煩

熱熔保險絲 (Thermal fuse) 很慢且不方便。一般的汽車保險絲

是在遭受到其 10 倍額定電流後約 20-50 毫秒會被觸發，而由於保險絲在被觸發後會斷開，所以在每次過電流事件後就必須更換保險絲。這就是為什麼汽車的重要部分是採用特殊的外殼，因為如此才能在必要時方便更換保險絲。

事實上，以現今汽車內部具有觸控螢幕、語音辨識和精密駕駛輔助系統等這許多先進技術來看，更換保險絲所採用的過時工具和模糊程序似乎不太適用於今日。

現今的電子保險絲不使用這種古老的技術。取而代之地，儀表板可以顯示相關的診斷訊息，指出導致保險絲觸發的故障是發生在哪個可能位置，並提供修復指引。

此外，電子保險絲的速度快上四倍，可以大幅縮短受其保護的電路暴露於有害電流浪湧的時間。它也能提供更精確的最大電流觸發點，如此一來，相較於熱熔保險絲保護，採用電子保險絲將有助於縮減電線直徑，因為熱

熔保險絲需要設計工程師提供較廣泛的最大電流範圍，而非一個特定，且是較低的電流值。

在電力網路的配置中，電子保險絲的另一個極大優勢更是顯而易見。電子保險絲可以放置在汽車的任何一個地方，不需像熱熔保險絲一樣集中放在一個保險絲盒中。這種作法的好處之一就是可以縮短線路鋪設長度，隨之而來的好處則是成本和重量的降低。

它還讓電力系統設計者得以首次採用易於管理的樹狀拓撲，甚至是採用環形拓撲來提供更進階的安全特性。樹狀拓撲可以支援使用極細的電纜，這是因為它們允許功率控制器可在一定時段內關閉電路的某些特定部分，以維持整個電路上的負載在預定的最大值之下。

量化重量減輕的可能性

很明顯的，用電子保險絲取代熱熔保險絲可以減小電纜線束的尺寸和重量，但是究竟是減少

多少呢？

在數十年前，汽車中的線纜主要是承載負載而不是信號。例如，在指示器的應用中，方向盤上的撥桿會關閉將指示器的繼電器直接連接至電池的接觸點。

在 1990 年代，汽車製造商開始引入電力網路，其目標是盡可能縮短負載電纜，並使用更細的信號電纜。因此，今天的指示器撥桿不會關閉負載觸點：取而代之地，感測器會偵測到指示器已經被接通，進而觸發一對電子控制單元 (ECU) 並將訊息發送至主要的前後車體單元，而正是這些車體單元負責開關指示燈的電源。

如果汽車沒有其他的進展，線纜束的總重量是應該會減少。然而，在實際情況中，比起 1990 年代的汽車，今日的汽車雖然多了很多的電氣和電子功能，但是其所減輕的重量，又已經被所需額外的網路連接所佔用。事實上，今日中階車款的汽車裝載著超過 1.5 公里的電纜，總重量超過 40kg。

而且，這些線纜當然需要保護。這通常就導致系統設計者為了減少重量和成本的需求，而掙扎著在找出一個最好的方式來兼顧安全、舒適和功能的改進。

以電動天窗為例，設計規範要求天窗即使是在冰封的情況下仍需能夠打開，而為了要破冰，流過天窗電動馬達的高電流達 30A。

但是電路的熱熔保險絲的規格無法適用 30A，這是因為老化會降低保險絲的額定電流*：須增加

20% 的餘量。然而 36A 並非現成保險絲的標準額定電流，所以天窗設計師被迫採用 40A 保險絲。

這就會反過來影響線纜規格。對於馬達的最大電流 30A 來說，一條 2.5mm² 的電纜就已足夠。電源網路設計還必須符合能承受最高 70°C 工作溫度的規格。假設汽車中的標準電纜發生電流浪湧，而保險絲在 400A 一標訂 40A 額定值的 10 倍 – 的熔斷時間需耗費 50ms，則標準電纜的溫度可能會上升至遠高於最大額定溫度的 105°C。因此天窗設計師被迫採用下一個更厚的線纜等級：在這種情況下得採用 4mm²，如此一來，重量會增加 40%，成本也會增加 40%。

相較之下，智慧型、應用導向的電子保險絲不會老化，可以被設計為在精確電流值 30A (或更高) 下才被觸發，如此就能使用厚度 2.5mm² 的線纜。

作者的估計是，利用電子保險絲來取代熱熔保險絲，則車輛中的銅可以減輕 5-8kg。在撰寫本文時，銅的成本約為 6.50 歐元 / 公斤，因此僅僅是銅的成本就可節省約 52 歐元。此外，歐盟在車隊燃料消耗量超過一定閾值時會徵收 €95/g 的二氧化碳排放稅，而減輕重量可以提高車輛的燃油效率，如此就能協助汽車製造商避免被徵收此稅。

智能保險絲還能提供更多好處：

- 它可以本地測量溫度
- 它可以啓用智能電源開關

後一種特性讓系統設計師能夠進一步減輕多功能電源電纜中的銅重量。以前車門為例，其具有多種電氣功能，包括：

- 後視鏡定位 (mirror positioning)
- 後視鏡開啓和關閉 (mirror opening and closing)
- 鏡面加熱
- 指示燈
- 電動窗馬達

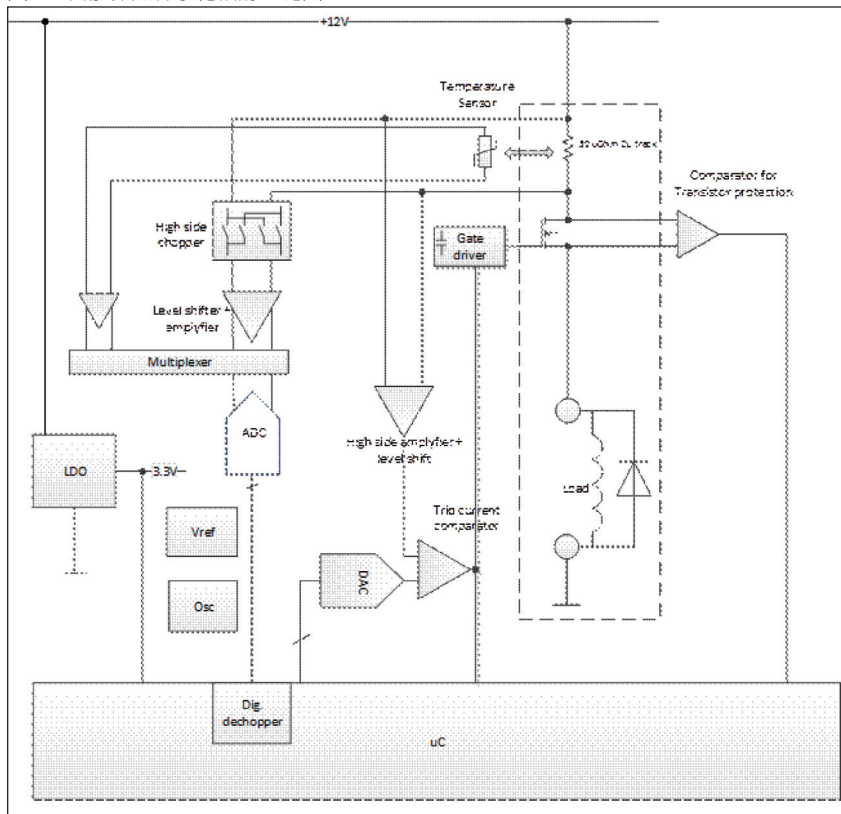
所有這些功能可以同時操作；在這種情況下，車門的電源電路必須能夠支援高峰值負載電流，而這就需要大直徑的電纜。替代方案是 – 以犧牲用戶的方便性為代價 – 預設禁用某些功能。例如，當電動窗馬達運作時，可以禁用反射鏡加熱器。事實上，當馬達電流啓動出現突波時，實際上只需要停止加熱器電流幾毫秒即可。因此，某些功能的停止時間可能極短，或者如果時間比較長，則可以在儀表板顯示中通知用戶。

在任一情況下，由智能保險絲預設執行的精確和連續的電流測量，可以確保流經每個單一電機子系統的電流都是已知的，所以就能以智能和細粒 (granular) 方式來管理功耗和峰值電流需求。這當然需要開發全新及複雜的軟體。

智能汽車保險絲：示範電路

現在，奧地利微電子 (ams) 開發了一個示範板，其中包含實現智能保險絲所需的各個功能區塊 (見圖 1)。在評估電路時，汽車製

圖 1：智能保險絲示範板的區塊圖



造商預期會考量：

- 電流和溫度測量的精確度是否在正確的水平
- 電路是否提供了正確數量的通道

來自製造商的回饋，將會影響此示範電路晶片級版本的最終規格，目前 **ams** 正在開發中。

新的保險絲由開關元件和電流測量元件組成。

在 IC 版本的電路中，開關將採用內部閘極驅動器和外部 MOSFET。驅動器必須以高速工作，因為它們需要頻繁地切換重負載，並且為了避免過度的開關損耗，MOSFET 在線性區域中耗費的時間必須盡可能縮短。

就像傳統的熱熔保險絲一樣，開關必須位於高側。這就意謂驅動

器需要額外的電荷泵，以便將電壓提高到足以高過電池電壓，如此才能驅動 MOSFET。

高側的精確電流測量

要實現這個電路有一困難處，這也是之前沒有半導體製造商做出這種簡單但高性能設計的原因，這個難處就是高側電流測量。

儘管處於高側，如果這電路要提供如上述的重量減輕和智能電源管理等好處，則該電流測量電路必須能夠提供高精度。幸運的是，**ams** 開發了一種可以實現精確高側電流測量的技術。此外，它能直接在電路板的銅線上測量電流，不使用昂貴的合金精密分流電阻器。

在這個示範板上，電流測量

元件直接放置在銅線的頂部，如此它們就可以測量其溫度和電流。這除去了對外部感測器的需求，同時還能夠補償銅的溫度係數。（銅線的尺寸必須以合理的精確度指定。）

利用這種直接在線路上測量的技術，可以測量高達 50A 左右的電流，使用兩層四層板。由於電路正在進行高側測量，因此還需要使用電平移位器 (level shifter) 來提供 ADC 可以處理的電壓。在示範板中，電路在工作溫度範圍內的電流測量精度可達到 $\pm 2\%$ 。如果需要，這還可以進一步提升。

此電路還提供直接切斷，繞過數位功能區塊。這可確保當遭受大電流浪湧時，保險絲可以在最長時間 20 μs 內切換。針對此功能採用比較器和電平轉換器，這又是另一個嚴苛的電路設計挑戰了。

在板子佈局方面，數個電流路徑是一起佈線，並且在背面覆蓋額外的熱質量 (thermal mass) (由銅製成)。這能確保它們為熱耦合，所以能將單一溫度測量施用於整個電路，同時補償在微控制器中的熱阻 (請見圖 2)。

ADC 本身具有斷路器架構，會產生零偏移：這使得電路即使在

圖 2：四個依序測量的路徑，具有同樣的溫度，更易於溫度補償

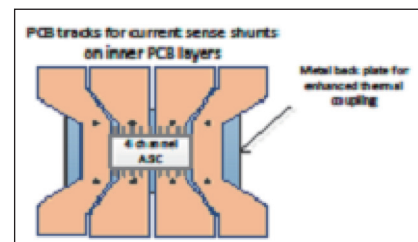
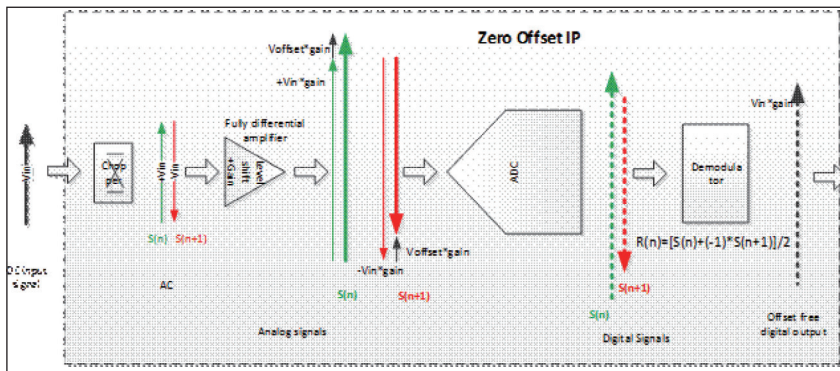


圖 3：類比斷路和數位去斷路的運作



低電流下也能精確地測量電流。電平轉換器會將分流器上的類比電壓降至 ADC 的電壓域，並在 Sigma-Delta ADC 的數位濾波器中實現去斷路 (dechopping)。

斷路器架構之所以不被一般接受，是因為它們會產生雜訊。但是在 ams 的這種設計中，在類比域中執行具有振鈴消除的斷路，並且在數位部分進行去斷路（請見圖 3），結果，雜訊是可以被忽略的，且電流通道信號路徑中的偏移完全被消除。

溫度測量

在這個 ams 電路中，由於大多數 MOSFET 的內部溫度測量不夠準確，所以 MOSFET 溫度的測量是由外部溫度感測器負責。使用附加的比較器，能允許直接過熱關斷，採用與過電流關斷功能相同的方式繞過數位電路。

數位功能區塊

圖 1 所示為可執行多個數位功能的微控制器：

- 數位去斷路器（解調器），用於

電流測量

- 銅分流器的電阻溫度補償
- DAC 關斷信號，用於過電流和過溫
- 電流路徑校準值的線路終端儲存 (end of line storage)
- 用來計算傳輸至 ECU 的精確電流值的軟體
- 通訊介面
- 安全特性管理
- 針對最多 4 個通道的過溫和過電流觸發特性進行編程

IC 版本的目的是盡可能讓數位功能成為狀態機 (state machine)；該元件不包括微控制器。這種方法更簡單和更便宜，且消耗更少的功率，並且能更佳地支援對於功能性安全的要求。

應該說，對該電路的功能安全性分析現今還在初期階段。IC 產品的規劃是提供 ASIL A 等級，但是如果產業要求，則會提供更高的安全等級。如果要充分發揮智能保險絲的相關優點，則需要使用一些外部軟體，所以完整的功能性安全分析只能在最終應用端進行。

然而，我們不能忘記一個事實：熱熔保險絲並未達到 ASIL 等

級。在功能安全性，以及系統成本、燃料效率、效能和功能方面，ams 展示的智能保險絲遠遠優於傳統的熱熔保險絲。

- 雖然老化是器件的固有特性，然而保險絲的老化在文獻中卻很少被討論。請參考 J. Shi 等人所著《老化評估條件，檢查和使用壽命 (Ageing Assessment Condition, Inspection and Lifetime)》，能源與動力工程學報 (Journal of Energy and Power Engineering) (2011) 892-898。

總結

汽車內的電子、電氣和機電功能的數量穩定成長，為汽車動力系統的設計及運作帶來許多創新突破。然而，在某一個領域，汽車仍然停留在技術石器時代：也就是電路保護裝置仍然是選擇採用可熔斷開裝置（保險絲）。

儘管有著許多嚴重的缺點，但是汽車業依然採用保險絲，這是因為傳統保險絲有一個非常強大的優勢特性：它的單位成本非常低。

然而，從系統的角度來看，採用更智慧的電子保險絲能提供的潛在優點包括降低總成本，以及減輕車輛重量等。現在，奧地利微電子 (ams) 推出了一個參考設計板，向業界介紹一種精確卻簡單的智能保險絲設計概念，透過此參考板，OEM 業者得以評估此概念，進而了解其優勢和成本，並且能在複雜

的動力系統中模擬其運作。

作者簡介

Martin Jaiser 於德國卡魯斯魯爾大學 (University of Karlsruhe) 獲得電子工程學位。之後進入 ADI、Rambus 和 Elmos 等公司擔任銷售和現場應用工程多個職務。自 2012 年以來，他一直於 ams AG 擔任汽車應用的現場應用工程

師，特別專注於位置感測、電感和電容感測及 NFC。

Manfred Brandl 為 ams 行動感測器部門的資深產品經理。他於 1984 年加入了 Austria Microsystems，以產品工程師一職開始他的半導體職涯。在 2000 年加入汽車業務部門之前，他被擢升擔任晶圓製造方面的重要職務。自 2003 年以來，他一直擔任電池管

理 ASSP 的產品經理。

Brandl 擁有奧地利格拉茨科技大學電機工程學士學位和機械工程碩士學位。他在感測器、感測器介面、微機電 (MEMS) 技術和封裝領域獲得十項發明專利。

Manfred Brandl 聯絡信箱：
manfred.brandl@ams.com CTA

奧地利微電子收購 Incus 實驗室，奠定主動降噪領域領導地位

高性能感測器和類比 IC 解決方案供應商奧地利微電子公司日前宣布，已簽署收購 Incus 實驗室有限公司的最終協定。Incus 實驗室有限公司是一家位於英國、專為頭戴式耳機和入耳式耳機提供數位主動降噪技術 IP (矽智財) 的私有企業。

目前，奧地利微電子是為耳機 OEM 廠商提供類比主動降噪解決方案的領導廠商，收購 Incus 將加強奧地利微電子在主動降噪 (ANC) 市場上的領導地位。奧地利微電子將充分利用 Incus 的 IP、其在聲學特性方面的專長及其降噪系統設計工具，開發和推出全新數位主動降噪解決方案。

奧地利微電子現有的類比主動降噪產品具有卓越的聲學性能及低功耗，而其即將面世的數位產品將在減少系統成本和尺寸、改進設計的靈活性等方面帶來額外成效。在 Incus 的設計工具套件和聲學特徵技術的支援下，奧地利微電子全新數位主動降噪解決方案無需為每款耳機配置和安裝定制的被動元件硬體濾波器，進而為 OEM 廠商提供了更為便利的實施方案，

Incus 的 IP 可以在各種通用的 DSP 核心上運行，同時為應用在眾多耳機附帶產品和售後市場上、基於 DSP 的解決方案提供核心主動降噪功能。Incus 解決方案以其跨寬廣頻率範圍的高水準降噪功能而著名，並受益於可補償數位信號處理鏈延遲的先進相移技術。Incus 的 IP 也支持使用先進的揚聲器和微型擴音器，以實現優異的高傳真音訊播放功能。

奧地利微電子將全面接管位於英國白金漢郡的 Incus，包括所有受專利保護的 IP。交易雙方同意對其相關內容進行保密。Incus 的員工，包括其創始人和管理團隊都將轉至奧地利微電子名下。奧地利微電子將繼續 Incus 現有的 IP 授權業務，同時也期待與合作夥伴一起努力滿足不斷擴張的市場需求。

奧地利微電子現有的類比主動降噪解決方案包括基於前饋、回饋及混合拓撲的產品，有單端身歷聲和單聲道橋接式負載兩個版本。關於奧地利微電子主動降噪解決方案的更多資訊，請訪問 www.ams.com/ANC。