

使用具有過電壓保護的類比開關取代分離式保護元件

在設計一可靠穩固的電路時所面臨的困難，通常會迫使設計者在設計中加入許多增加成本、設計時間、以及佔用空間的分離式保護元件。本文中將介紹如何使用具有故障保護 (fault protection) 能力的開關架構，以及相對於傳統分離式保護解決方案，此類開關所能提供的其它優點。內容中將介紹一個能夠～提供領先業界的故障保護與精準信號鏈 (precision signal chain) 所需性能～的創新開關架構及ADI專有高電壓製程 (high voltage process)。ADI的故障保護開關及多工器 (ADG52xxF and ADG54xxF) 的新產品系列中，便採用了這裏所介紹的此技術。

■作者：Paul O'Sullivan/ADI 亞德諾半導體

對於系統設計者來說，高品質信號鏈中的類比輸入保護，經常會是一個痛點。在分離式元件所能提供的類比性能 (如漏電流及導通電阻) 與保護程度之間，通常需要做一個重要的衡量取捨。使用過電壓保護開關與多工器來取代分離式保護元件，可以在類比性能、穩固性、以及解決方案的尺寸大小上帶來重大的優勢。過電壓保護元件通常是位於敏感的下游電路與曝露於各種外部干擾的輸入端之間，一個明顯的例子，就是過程控制信號鏈中的感測器輸入端。本文將詳細說明過電壓事件所造成的問題、討論傳統分離式保護解決方案及其缺點、介紹過電壓類比開關所提供的解決方案 (包括特點及系統優點)、並介紹業界最先進的ADI故障保護類比開關。

過電壓問題 — 回到基礎點

當加諸於開關的輸入信號超過電源 (V_{DD} 或 V_{SS}) 達一個二極體壓降以上時，IC 內的 ESD 保護二極體將呈現順向偏壓，且電流由輸入信號流向電源，如圖 1 所示。如果沒有限電流的機制，此電流會損壞元件，且可能觸發閂鎖效應 (latch-up)。

如果開關沒有供電時，會有以下幾種可能出現

的情境：

1. 如果電源為浮接 (floating)，則輸入信號可能最後會通過 ESD 二極體來送電給 V_{DD} 軌。如此一來， V_{DD} 腳將處於輸入信號的一個二極體壓降之內。這

圖 1: 過電壓的電流路徑

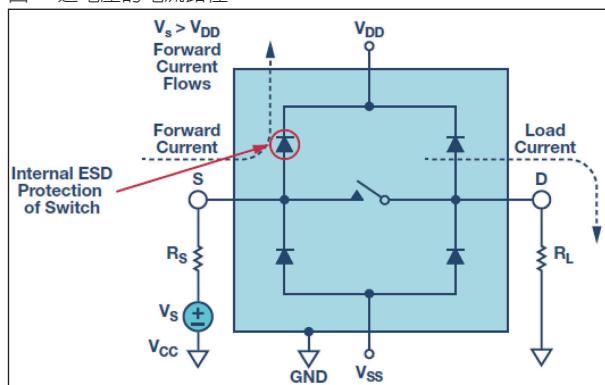
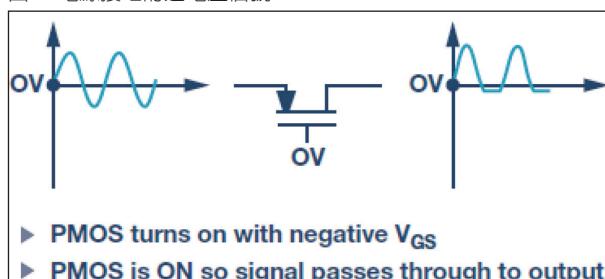


圖 2: 電源接地的過電壓信號



表示開關會被有效地供電，就如同任何其它使用相同 V_{DD} 軌的元件一樣。這會導致信號鏈中的元件進入無法預知且控制的動作狀態。

2. 如果電源被接地，則 PMOS 元件會受負 V_{GS} 驅動而導通，如此一來，開關會讓一削波信號 (signal) 通過而送往輸出，可能因此損害同樣未供電的下游元件 (見圖 2)。請留意：如果有通過二極體接到電源，這些二極體會產生順向偏壓並將信號削波到 $+0.7V$ 。

分離式保護解決方案

傳統上，設計者會採用分離式保護元件來處理輸入保護問題。

大的串接電阻可用來在故障時限制電流，而電源軌上的肖特基或齊納二極體則會對任何過電壓信號進行嵌位 (clamp)。圖 3 所示，就是在一多工的信號鏈中，此類保護方案的一個例子。

然而，使用這類分離式保護元件有不少的缺點。

1. 串接電阻會增加多工器的穩定 (settling) 時間，並因而拉長整體的穩定時間。
2. 保護二極體會導致額外的漏電流，並改變電容，因而影響到量測的精準性及線性度。
3. 在浮接電源狀態下，將不會有保護，因為此時對電源的 ESD 二極體不會提供任何嵌位保護。

傳統開關架構

圖 4 中的電路為一傳統開關架構的概觀，其中的開關元件 (圖 4 中的右側) 對每一個電源軌都有 ESD 二極體，位於開關元件的輸入與輸出側。此處

圖 3: 分離式保護解決方案

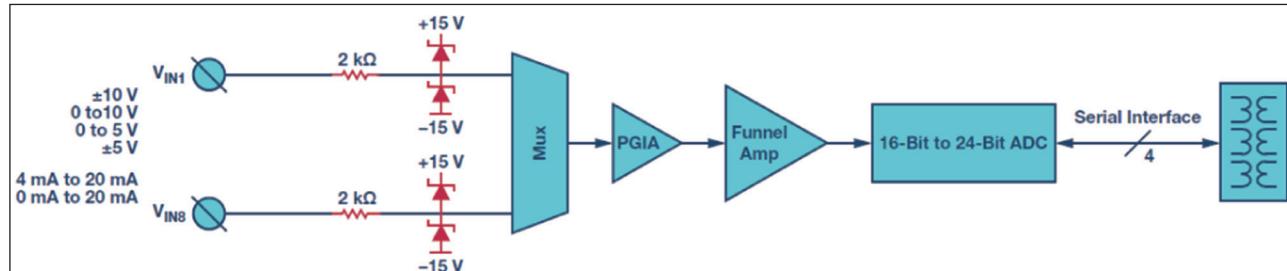
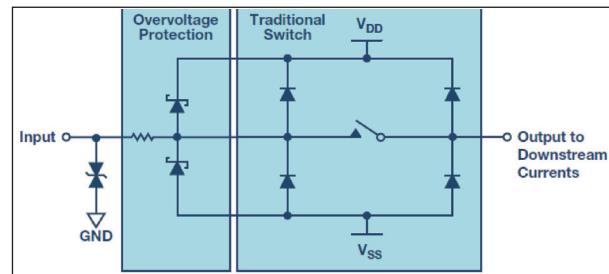


圖 4: 具有外部分離式保護的傳統開關架構



也顯示了外部分離式保護元件 – 提供限流用途的串接電阻，以及對電源提供過電壓嵌位的肖特基二極體。在較嚴苛的環境中，通常需要使用雙向 TVS 來加強保護。

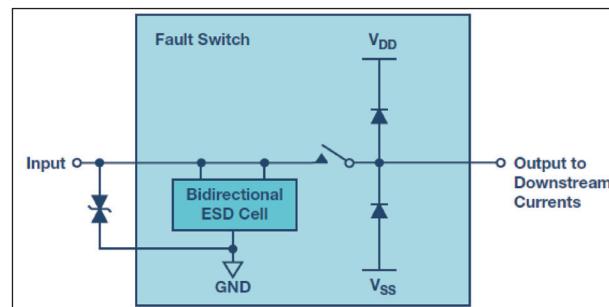
故障保護開關架構

故障保護開關的架構如圖 5 所示，輸入端的 ESD 二極體被雙向 ESD 元件所取代，因此輸入電壓範圍不再被電源軌上的 ESD 二極體所限制。如此一來，輸入端所能看到電壓，將可高達製程極 (對於 ADI 新推出的故障保護開關來說，即為 $+/-55V$)。

輸出端的 ESD 二極體則大多數仍保留，因為通常在輸出側沒有過電壓保護的需要。

輸入側的 ESD 元件仍然能提供極佳的 ESD 保

圖 5: 故障保護開關的架構



護。ADG5412F 就是使用此類 ESD 元件的過電壓故障保護四組 (quad) SPST 開關，它的 HBM ESD 額定值可達 5.5kV。對於較嚴苛的情況，如 IEC ESD (IEC 61000-4-2)、FET、或 surge 保護來說，則仍可能會需要用到一外部的 TVS 或一較小的限流電阻。

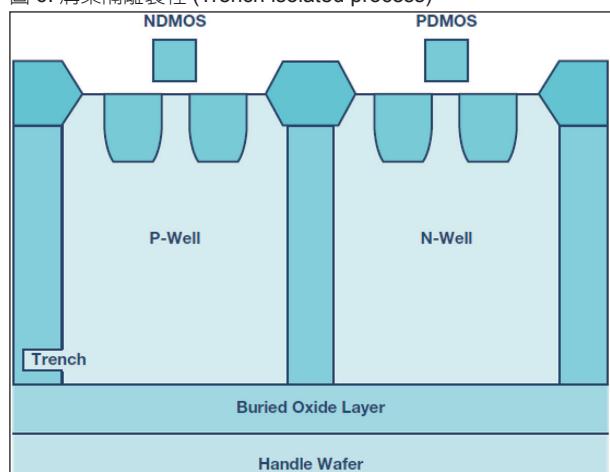
在開關的輸入其中之一出現過電壓的情況下，受影響的通道會關閉，而該輸入端變為高阻抗狀態。其它的通道會維持低漏電，以便讓這些剩下的通道能在性能受到最小影響的狀態下，持續地正常動作。這讓系統速度 / 性能及過電壓保護兩者之間，只需有非常小的取捨。

由於以上的原因，故障保護開關能大幅簡化信號鏈的解決方案。在很多的場合中，使用開關過壓保護可省去限流電阻及肖特基二極體，整體系統性能將不再受限於通常會為信號鏈帶入漏電或失真的外部分離元件。

ADI 故障保護開關的特點

ADI 故障保護開關的新產品系列，是以其專有的高電壓製程技術為基礎，能於供電與未供電狀態下，提供高達 +/-55V 的過壓保護。這些元件能為精密信號鏈，提供領先業界的故障保護開關性能。

圖 6: 溝渠隔離製程 (Trench isolated process)



門鎖效應免疫能力

ADI 專有的高壓製程也是屬於溝渠隔離的技

術，其中，一隔離氧化物層被安排於每一個開關內的 NDMOS 及 PDMOS 電晶體之間。位於接合隔離開關 (junction-isolated switch) 內的電晶體之間的寄生接合面 (parasitic junctions) 會被消除，因而成為在任何條件下都能對門鎖效應免疫的開關。舉例來說，ADG5412F 能通過 JESD78D 達 1 秒鐘脈寬的 +/-500mA 門鎖效應測試，也就是該規格中的最嚴苛測試。

類比性能

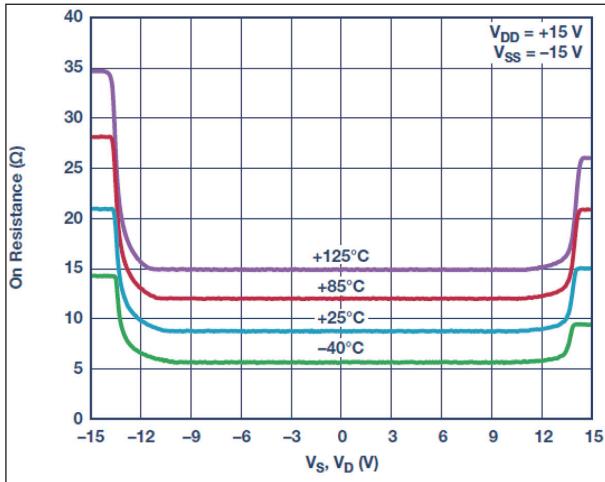
除了領先業界的穩固性 (高電壓保護、高 ESD 額定值、無數位輸入存在時的已知啟動狀態)，新的 ADI 故障保護開關還提供了領先業界的類比性能。一如往常，開關的性能是在低導通電阻 (on resistance) 與低電容 / 電荷注入 (charge injection) 兩者間的取捨。開關的選擇通常是視負載為高阻抗或低阻抗來決定。

低阻抗系統

低導通電阻元件通常是使用於低阻抗系統中，在此場合中，開關的導通電阻必需被控制在最小。在低阻抗系統中，比方說電源或增益級 (gain stage)，並聯於負載的導通電阻及源阻抗 (source impedance) 會造成增益誤差 (gain errors)。雖然增益誤差大多都能被校正，但整個信號範圍內或通道間的導通電阻 (R_{ON}) 的變異，會產生出無法校正的失真 (distortion)。因此，由於跨通道間的 R_{ON} 平坦性及 R_{ON} 變異，低電阻電路較容易出現失真誤差。

圖 7 所示，為一個新推出的故障保護開關，在整個信號範圍中的導通電阻。除了能達到非常低的導通電阻，其 R_{ON} 平坦性及通道間的匹配 (matching) 也相當優良。這些元件有一專利的開關驅動設計，能保證一恆定的 VGS 電壓，並在整個輸入電壓範圍內提供平坦的 R_{ON} 性能。此設計相對需要的一點犧牲，是會輕微減小能達到最佳化性能的信號範圍，這可從 R_{ON} 圖的曲線形狀看出來。在一些對於 R_{ON} 變異或 THD 敏感的應用中，此 R_{ON} 性

圖 7: 故障保護開關導通電阻



能可為系統帶來顯著的系統優勢。

ADG5404F 是一新推出的門鎖免疫、過電壓故障保護能力的多工器。比起標準型元件，門鎖免疫元件及過電壓保護元件通常有較高的導通電阻，及較差的導通電阻平坦性。但由於 ADG5404F 設計中採用了恆定 VGS 機制，其 R_{ON} 平坦性實際上甚至於比 ADG1404(具有領先業界的低導通電阻) 及 ADG5404(門鎖免疫，但無過壓保護) 還來得好。在許多應用中，如 RTD 溫度量測， R_{ON} 平坦性事實上要比導通電阻的絕對值重要，因此故障保護開關就有機會讓這些系統有較好的性能表現。

低阻抗系統的典型故障模式，是在發生故障發生時，讓汲極 (drain) 輸出變為開路狀態。

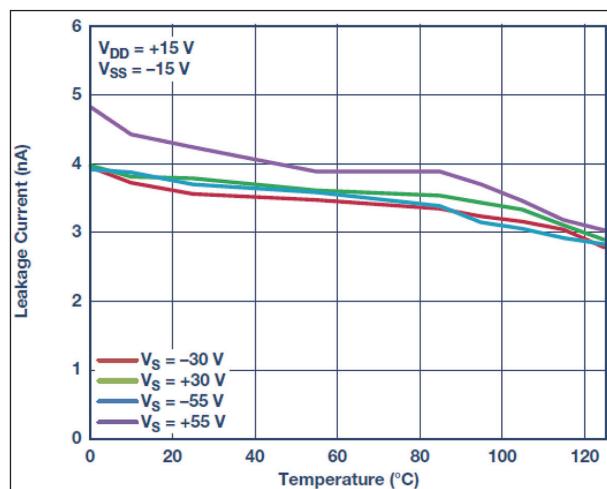
高阻抗系統

低漏電、低電容、低電荷注入開關，是高阻抗系統中最普遍採用的。資料採集 (data acquisition) 系統由於其多工器輸出上的放大器負載，因此通常是高阻抗。

- 漏電流是在高阻抗電路中，誤差的主要來源。任何漏電流都可造成顯著的量測誤差。
- 低電容及低電荷注入對於較快速的穩定而言，也是關鍵條件。它們可讓一資料採集系統達到最大的資料吞吐量。

ADI 新推出的故障保護開關有極佳的漏電性

圖 8: ADG5248F 過電壓漏電流 vs. 溫度



能，在正常動作下，漏電流只有低 nA 範圍的等級，對於許多應用有其關鍵性的幫助。

嚴格來說，即使輸入通道之一發生故障，漏電性能仍可維持相當地良好。也就是說，其它通道仍可持續進行量測直到故障被排除，因而可降低系統的停機時間。圖 8 所示，為 ADG5248 8:1 多工器的漏電流。

高阻抗系統的典型故障模式，是在發生故障時，將汲極輸出上拉到電源軌。

故障診斷

ADI 新推出的故障保護開關，大部份也都具有數位故障 (digital fault) 接腳。其中 FF 接腳提供一通用故障旗標，藉以通知輸入通道之一發生了故障。特定故障 (specific fault, SF) 接腳則可用來具體找出是哪一根接腳出現故障。這些接腳對於系統的故障診斷很有幫助，FF 接腳首先警示使用者有故障發生，接著使用者可掃描所有的數位輸入，由 SF 接腳來判斷故障是出現於哪一個或哪些開關。

系統優點

新推出的故障保護開關系列的系統優點，如圖 9 所示。對於系統設計者而言，其優點相當大，特別是在一精密信號鏈中確保最優化類比性能，以及系統穩固性等兩個方面上。

與分離式保護元件相比，優點非常的明顯，前面已詳細說明。ADI 專有的高壓製程及創新開關架

圖 9: ADI 故障保護開關 一 特色及系統優點

特色	系統優點
故障保護 +/-55V 過電壓保護	防止傷害下游電路 減低所需的分立式保護元件
故障偵測 故障狀況時的數位輸出指示	故障來源警示 省掉複雜的故障偵測軟體
故障保護 +/-55V 過電壓保護	防止傷害下游電路 減低所需的分立式保護元件
故障偵測 故障狀況時的數位輸出指示	故障來源警示 省掉複雜的故障偵測軟體

構，也為新的 ADI 故障保護開關產品系列，提供了相對於其競爭對手解決方案的一些優點：

- 針對精密量測，提供領先業界的 R_{ON} 平坦性
- 領先業界的故障漏電流性能，讓其它通道能持續正常動作而不受一個故障的影響 (10 倍優於競爭對手的解決方案)
- 具有第二故障電源 (secondary fault supplies) 的元件，供精密故障閾值 (precision fault thresholds) 使用，而仍能維持最佳的類比開關性能
- 智慧型故障旗標 (intelligent fault flags) 供系統故障診斷

應用例

圖 10 所示的第一個應用例，是一程序控制信號鏈，其中的微控制器負責對一些感測器 (如 RTD 或熱耦合溫度感測器、壓力感測器、及溼度感測器) 進行監督。在一程序控制應用中，感測器可能會被接到工廠中一條非常長的纜線的一端，而故障則可能發生在纜線全長中的任何一處。

此處的多工器為 ADG5249F，此元件為針對低電容及低漏電取得優化的產品。其低

漏電特性，對於此類的小信號感測器量測相當重要。

產品摘要

開關動作於 $+/-15V$ 電源，第二故障電源被設定為 5V 及 GND，以保護下游的 PGA 及 ADC。

主感測器信號經過多工器而到達 PGA 及 ADC，故障診斷則會在故障發生時，直接被送到微控器以提供中斷。使用者因此可得到故障狀態的警示，並判斷是哪一個感測器發生故障。此時技術員便可前往排除故障，必要時更換掉故障的感測器或纜線。

由於具有領先業界的低故障漏電規格，因此即使在感測器之一故障而等待被替換時，其它感測器

圖 10: 程序 (process) 控制應用例

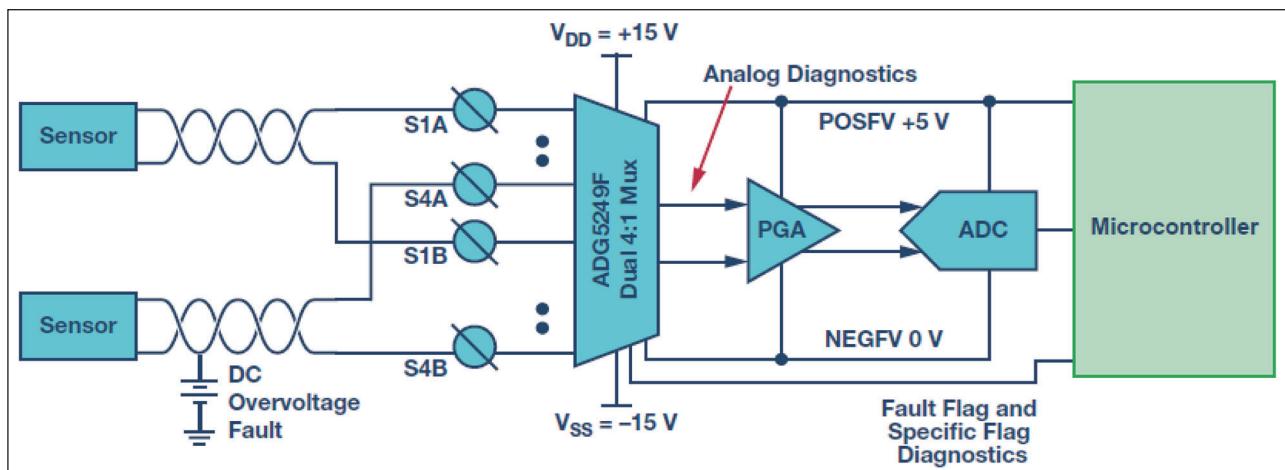


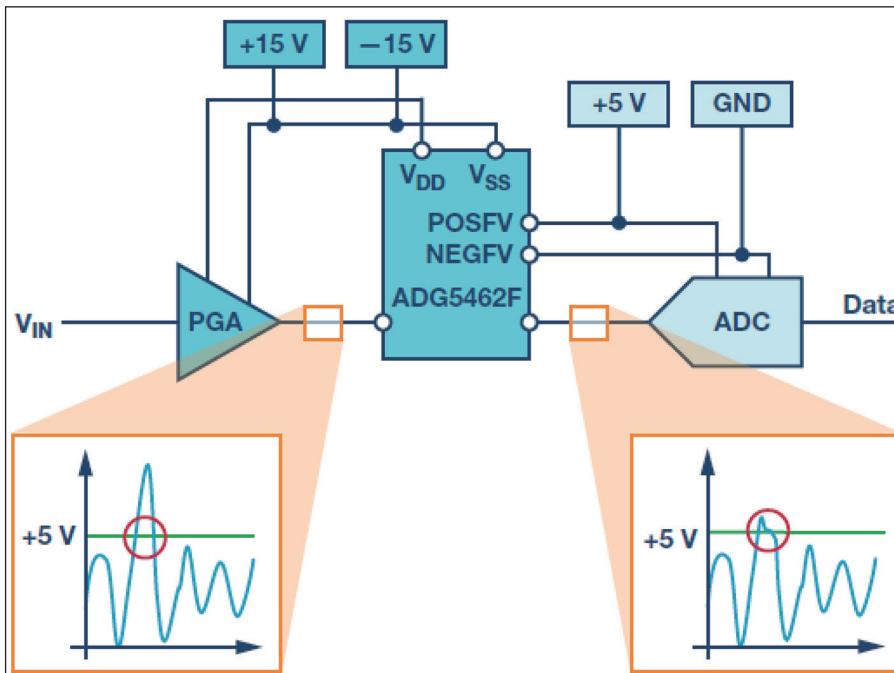
表 1: 低導通電阻的故障保護開關系列

Product	Configuration	Fault Trigger Threshold	Output Fault Mode	Fault Flag
ADG5412F	Quad SPST	Primary supplies	Open circuit	General flag
ADG5413F				
ADG5412BF	Quad SPST and bidirectional OVP	Primary supplies	Open circuit	General flag
ADG5462F	Quad-channel protector	Secondary supplies	Pull to secondary supply or open circuit (default)	General flag
ADG5404F	4:1 mux	Primary supplies	Pull to secondary supply or open circuit (default)	General and specific flags
ADG5436F	Dual SPDT	Primary supplies	Pull to secondary supply or open circuit (default)	General and specific flags

表 2: 低電容 / 低電荷注入的故障保護開關系列

Product	Configuration	Fault Trigger Threshold	Output Fault Mode	Fault Flag
ADG5208F	8:1 multiplexer	Primary supplies	Pull to rails	None
ADG5209F	Differential 4:1 multiplexer	Primary supplies	Pull to rails	None
ADG5248F	8:1 multiplexer	Secondary supplies	Pull to secondary supplies	General and specific flags
ADG5249F	Differential 4:1 multiplexer	Secondary supplies	Pull to secondary supplies	General and specific flags
ADG5243F	Triple SPDT	Secondary supplies	Pull to secondary supplies	General and specific flags

圖 11: 資料採集應用範例



$+/ - 15V$ 電源軌做為其主要電力來源，以達到最佳的導通電阻，並使用 $0V$ 及 $5V$ 做為其第二電源軌。在正常動作狀態下，ADG5462F 會讓信號通過。當有任何來自 PGA 的過電壓輸出時，它會將此過電壓箝位到 $0V$ 與 $5V$ 之間，藉以保護 ADC。因此，就如先前所提的應用例，我們所關注的信號會被偏壓 (biased) 到平坦的 R_{ON} 動作區。

總結摘要

使用過電壓保護開關及多工器來取代傳統分離式保護元件，可為精密信號鏈提供許多的系統優點。除了節省電路板空間，將分離式元件取代掉所帶來的性能優勢也是非常大的。

ADI 推出了範圍廣泛的開關及多工器產品，表 1 及表 2 列出了最新系列的故障保護元件，這些元件採用了 ADI 專有的高電壓及閂鎖免疫製程技術，為精密信號鏈提供了領先業界的性能與特點。 

仍可持續受到監視。如果沒有如此的低故障漏電流，某一通道上的一個故障會在該故障被排除前，讓所有的其它通道無法使用。

圖 11 所示的第二個應用例，是資料採集信號鏈的一個部份，此處可看到 ADG5462F 通道保護器發揮其價值。在此例中，有一具有 $+/ - 15V$ 電源軌的 PGA，而 ADC 下游則有一 $0V$ 到 $5V$ 之間的輸入信號範圍。

通道保護器位於 PGA 及 ADC 之間，它使用