

# 數位電源的隔離技術與方法

■作者：Jason Duan/ADI 資深應用工程師

## 介紹

隨著網際網路及通信基礎建設的積極發展，數位控制技術在電信、網路、及電腦的電力系統中越來越為普遍，這是由於它可提供深具吸引力的優勢，包括：設計彈性、元件數量降低、先進技術、控制演算法、系統通信、對於外部雜訊的低靈敏度、以及參數的變異等。數位電源目前被廣泛應用於高階的伺服器、儲存設備、以及電信模塊 (telecom brick module) 中。對於這些應用來說，通常會應用到隔離技術。

數位電源隔離所要面對的挑戰，在於必須以快速、準確、且體積小的條件下，將數位或類比信號傳送跨越過隔離屏障<sup>1</sup>。然而，傳統的光耦合器解決方案存在著低帶寬和低電流傳輸比 (CTR) 的缺點，這會導致明顯的溫度飄移，以及隨著時間的性能退化問題。而變壓器解決方案則也有體積大、磁飽和等問題。這些問題，限制了光耦合器或變壓器被使用在一些高可靠性、體積小巧、且使用壽命長的機會。本文將討論如何透過數位隔離技術，利用 ADI 的 iCoupler 系列產品解決在數位電源設計中的這些問題。

表 1: 一次側控制和二次側控制的功能比較

功能	一次側控制	二次側控制
啟動 (power up)	需要直接或簡易直流整流電源以供電給控制器	需要外部隔離電源以供電給控制器
閘驅動 (gate drive)	一次側開關的閘驅動器不需隔離；同步整流器的閘驅動器則需要隔離	同步整流器的閘驅動器不需隔離；一次側開關的閘驅動器則需要隔離
輸入 UVP/OVP	不需隔離	需要隔離
輸出 UVP/OVP	需要隔離	不需隔離
控制迴路	需要隔離控制迴路以整流輸出電壓	不需隔離控制迴路以整流輸出電壓
系統通信	需要隔離	不需隔離
遠端開關 (remote on/off)	不需隔離	需要隔離

## 爲何需要隔離

在設計電源時，遵守安全標準以保護操作人員和其他人員避免受到電擊或危險，是絕對必要的一點。隔離是滿足安全標準的一種重要方法。全球許多標準機構的隔離要求中，都定義了不同等級的輸入和輸出電壓 — 包含穩態和暫態 —，如歐洲的 VDE 和 IEC，以及美國的 UL。舉例來說，UL60950 中定義了以下五個類別的絕緣：

- ▶ 功能絕緣：讓設備能正常動作所需的基本絕緣。
- ▶ 基本絕緣：能提供基本電擊保護的絕緣。
- ▶ 輔助絕緣：在基本絕緣以外另外加入的獨立絕緣，以便在基本絕緣故障時降低電擊的風險。
- ▶ 雙重絕緣：包括了基本絕緣和輔助絕緣。
- ▶ 增強絕緣：能提供一定程度電擊防護的單一絕緣系統，且相當於在本標準規定條件下的雙重絕緣。

## 一次側 (primary side) 控制和二次側 (secondary side) 控制的比較

根據控制器所在的位置，隔離電源的控制方法可分為兩種類型：一次側控制和二次側控制。表 1 顯示了兩者之間的功能比較。UVP 和 OVP 分別代

表了欠壓保護和過壓保護，如表 1。

## 二次側控制

ADP1051 是 ADI 所推出的先進數位電源控制器，具有 PMBus 介面，其目標應用為高功率密度和高效能產品，如中間匯流排轉換器 (intermediate bus converters)<sup>2</sup>。ADP1051 是基於靈活的狀態機器 (state machine) 架構，並提供許多極具吸引力的功能，如反向電流保護、預偏置啟動 (prebias startup)、恆流模式、可調輸出電壓轉換速率 (slew rate)、自適應死區時間 (adaptive dead time) 控制、以及和晶片內的伏

– 秒 (volt-second) 平衡，與類比解決方案相比，減少了許多的外部元件。一般來說，ADP1051 較多被用於二次側控制，因其易與系統進行通信。因此，像是同步整流器的 PWM 信號和 V<sub>OUT</sub> 感測的這類信號，不需要跨越過隔離邊界即能與系統通信。但是，在此情況下，需要一輔助電源，在啟動階段從一次側提供啟動電源給二次側控制器 ADP1051。此外，ADP1051 輸出的 PWM 信號需要跨越隔離邊界。以下我們將討論三種方法，即閘驅動變壓器、數位隔離器、和隔離型閘驅動器。

## 閘驅動變壓器

圖 1 為採用閘驅動變壓器方案的數位電源方塊圖。在這類方法中，二次側控制器 ADP1051 發送 PWM 信號給 ADP3654，ADP3654 是一雙通道 4A 的 MOSFET 驅動器。接著，ADP3654 驅動一閘驅動變壓器。

閘驅動變壓器的功能，是將驅動信號從二次側傳輸到一次側，並驅動一次側的 MOSFET。一輔助隔離電源負責在啟動階段時提供 ADP1051 所需的電源。

閘驅動變壓器解決方案的優點，包括了時間延

圖 1：由 ADP3654 解決方案驅動的閘驅動變壓器

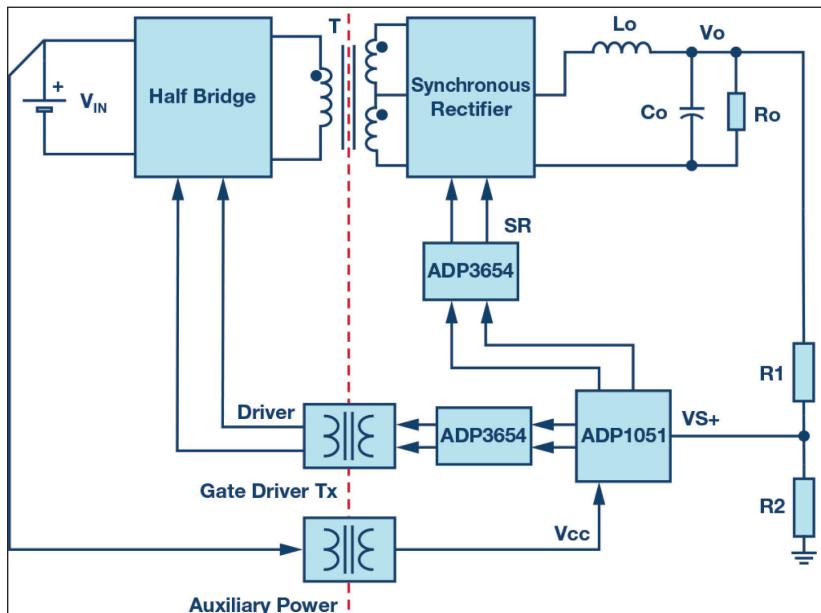
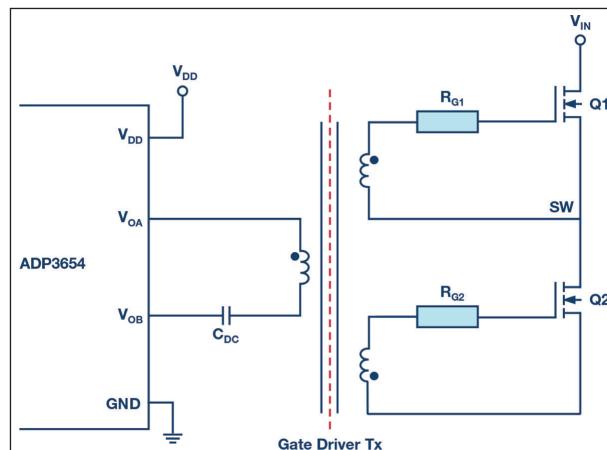


圖 2：雙端閘驅動變壓器



遲相當短以及較低的成本。但是，ADP3654 需要較小心設計的閘驅動變壓器，因為此變壓器需要在一開啓 (on) 期間後加以重置 (reset) – 否則會出現飽和現象。針對半橋式拓撲所設計的閘驅動變壓器，通常會採用雙端變壓器 (double ended)，如圖 2 所示。

圖 2 所示，是由 ADP3654 所驅動的閘驅動變壓器的電路。其中，ADP3654 的 V<sub>OA</sub> 和 V<sub>OB</sub> 輸出端透過一阻擋直流的電容器 C<sub>DC</sub>，連接到一閘驅動變壓器。以所有操作條件下最大可能需要的伏 – 秒來考量，我們為此半橋拓撲選擇了 50% 的最大負載週期。一旦鐵心 (core) 決定了，便可藉由公式 1 來計

算出一次繞組的圈數  $N_P$  :

$$N_P = \frac{V_{dd} \times 0.5}{\Delta B \times A_e \times f_s} \quad (1)$$

其中  $V_{dd}$  是一次側繞組兩端的電壓， $f_s$  是開關(交換)頻率， $\Delta B$  是半個開關周期內的峰對峰磁通密度變化， $A_e$  為鐵心的等效橫截面積。當  $V_{OA}$  為高電位而  $V_{OB}$  為低電位時，Q1 為導通而 Q2 則關閉。當  $V_{OB}$  為高電位而  $V_{OA}$  驅動為低電位時，Q2 開啓而

圖 3: 數位隔離器解決方案

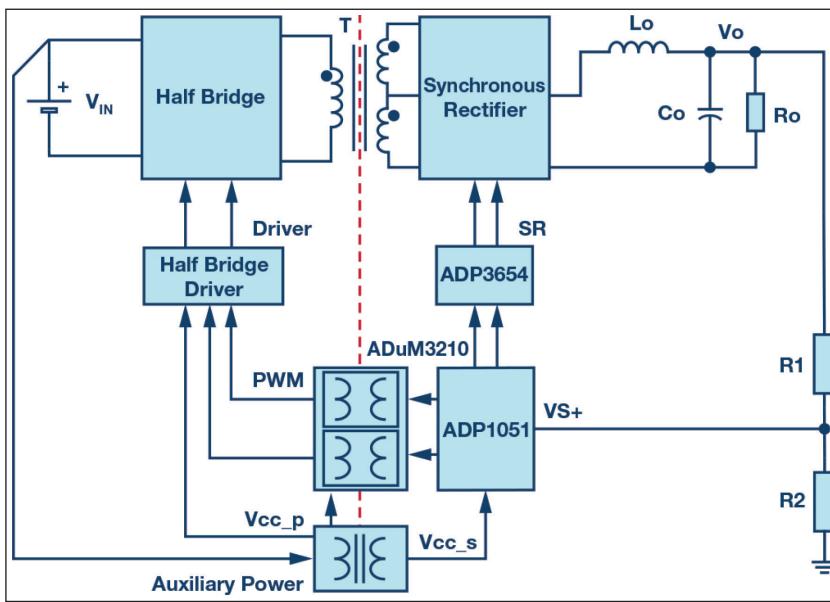
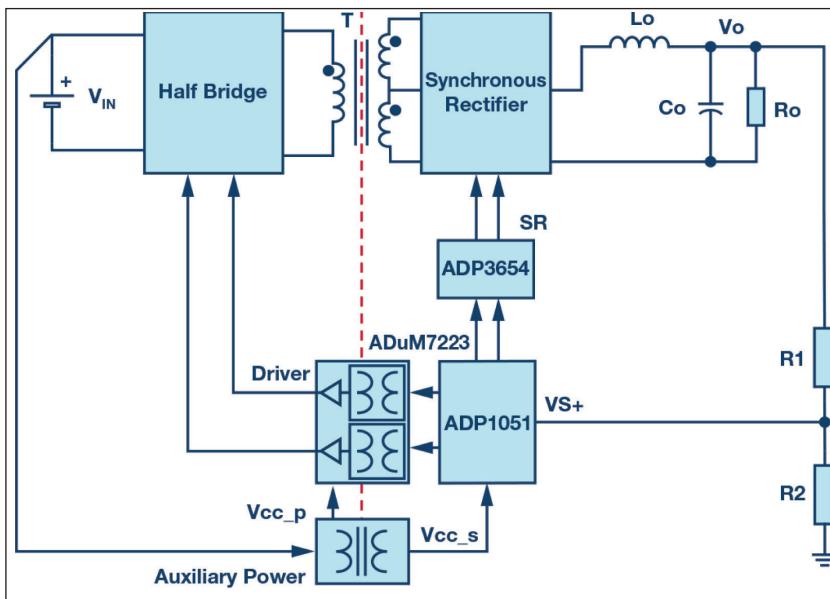


圖 4: 隔離閘驅動器解決方案



Q1 關閉。請注意一點，此閘驅動變壓器僅適用於對稱式的半橋，並不適合非對稱式半橋或其他主動式箝位拓撲。

## 數位隔離器

圖 3 所示為一數位電源的方塊圖，其中採用了一數位隔離器解決方案。雙通道數位隔離器 ADuM3210 是用來作為數位隔離，將 PWM 信號從二次側控制器 ADP1051，傳輸到一次側半橋驅動器。

與複合式閘驅動變壓器設計相比，數位隔離器解決方案的體積較小、較可靠、使用上也較簡單。此外，此方案沒有負載周期 (duty cycle) 上的限制，也沒有飽和問題。由於節省了超過 50% 的 PCB 空間，此解決方案可實現高功率密度的設計。

## 隔離式閘驅動器

為了進一步簡化設計，具有集成式電氣隔離和強大閘驅動能力的 4A 隔離半橋閘驅動器 ADuM7223，能提供獨立且隔離的高端 (high-side) 和低端 (low-side) 輸出。隔離式閘驅動器解決方案如圖 4 所示。

在圖 5 中，ADuM7223 隔離式閘驅動器被設置成為自舉 (bootstrap) 閘驅動器，以驅動一半橋拓撲。 $D_{BST}$  是外部自舉二極體，而  $C_{BST}$  則是外部自舉電容。在低端 MOSFET Q2 導通的每個周期中， $V_{DD}$  會經由自舉二極體對自舉電容充電。為了將功耗降到最低，需使用一低正向壓降和快速反向恢復時間的超快二極體。

## 一次側控制

由於一次側控制不需要輔助隔離電源，並具有簡單的控制架構，因

圖 5：被設置為一自舉閘驅動器的隔離式閘驅動器

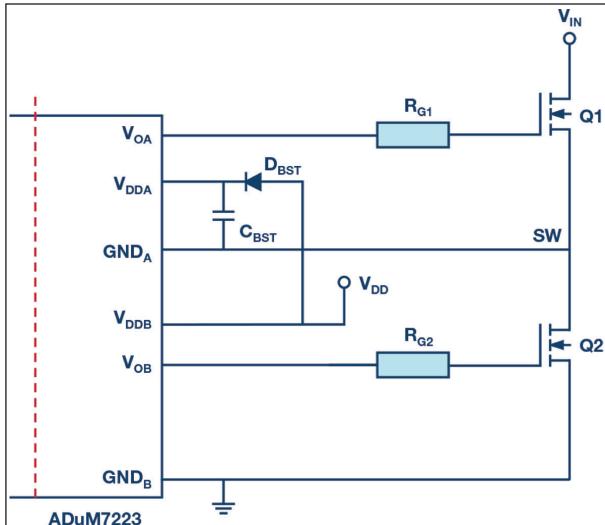


圖 6：TECT1100 相對於溫度的正規化 CTR

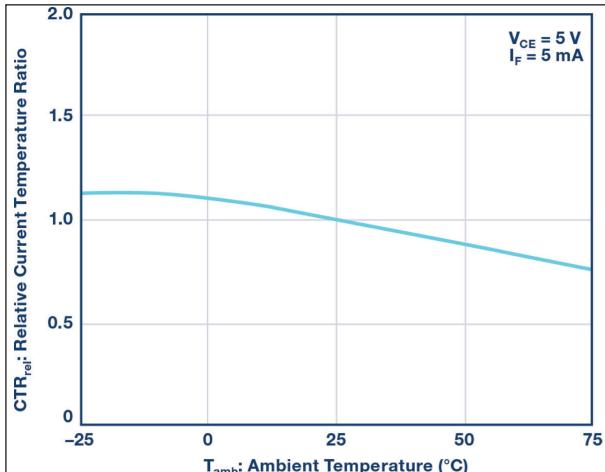
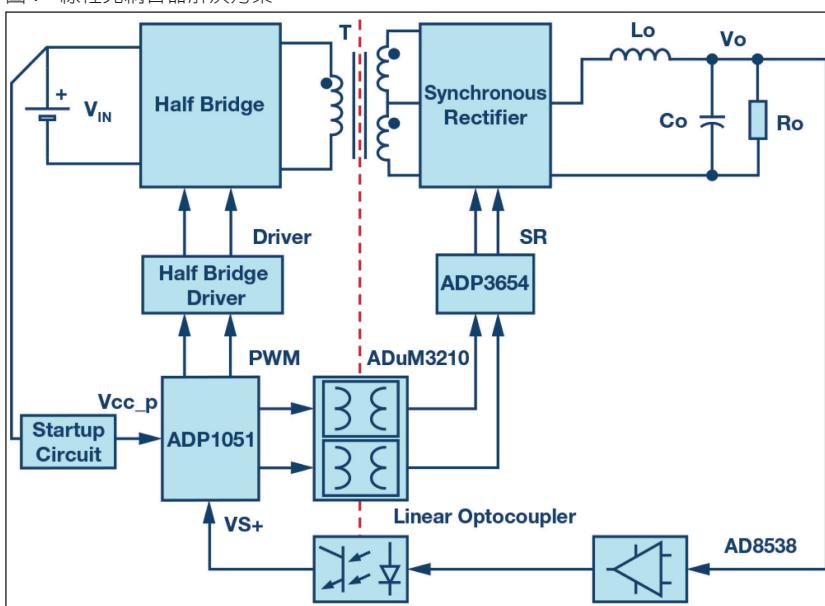


圖 7：線性光耦合器解決方案



此在一些低成本的應用中，一次側控制較受歡迎。以下我們將依據隔離控制的路徑，討論三種實現的方法：線性光耦合器、具有標準放大器的通用光耦合器、以及隔離放大器。

## 線性光耦合器

通常要隔離數位電源中的輸出電壓時，需要快速且準確的隔離回授。一般會採用光耦合器，將類比信號從二次側發送到一次側。但是光耦合器的CTR隨溫度所產生的變化範圍很大，且會隨著時間而劣化。圖6為TCET1100的正規化(normalized)CTR相對於與環境溫度的特性關係。從此圖可看出，CTR在-25°C到+75°C範圍內的變化會超過30%。

通常，對於直接被使用在回授迴路中，藉以傳輸輸出電壓的通用光耦合器來說，很難保證其輸出電壓精度。通用光耦合器與誤差放大器一起使用，傳送補償信號而非輸出電壓。ADP1051已將數位迴路補償內建於晶片中，因此不需要補償信號。另一個作法是，使用線性光耦合解決方案，以便線性地傳輸輸出電壓，如圖7所示。但線性光耦合器的成本高，這意味著使用者必須支付額外的成本。

## 搭配標準放大器的通用光耦合器

另一個可以透過通用光耦合器及標準放大器，實現一次側控制的電路，如圖8所示。在此情況下，可以實現高輸出電壓精度，而不需忍受因溫度變化而導致的光耦合器CTR大範圍變化。從測量結果可看到，輸出電壓的變化範圍被控制在±1%以內，而CTR範圍則在100%到200%之間。

CTR的計算公式如下：

$$CTR = \frac{I_C}{I_F} \times 100\% \quad (2)$$

當 CTR 隨溫度變化時，放大器的輸出將會對此變化進行補償，以保持輸出電壓的高精度。請注意放大器的穩定工作點和擺幅範圍必須要設計得當，以便在放大器的輸出飽和時，仍能滿足 CTR 隨溫度變化程度的要求。

圖 8：搭配放大器的光耦合器

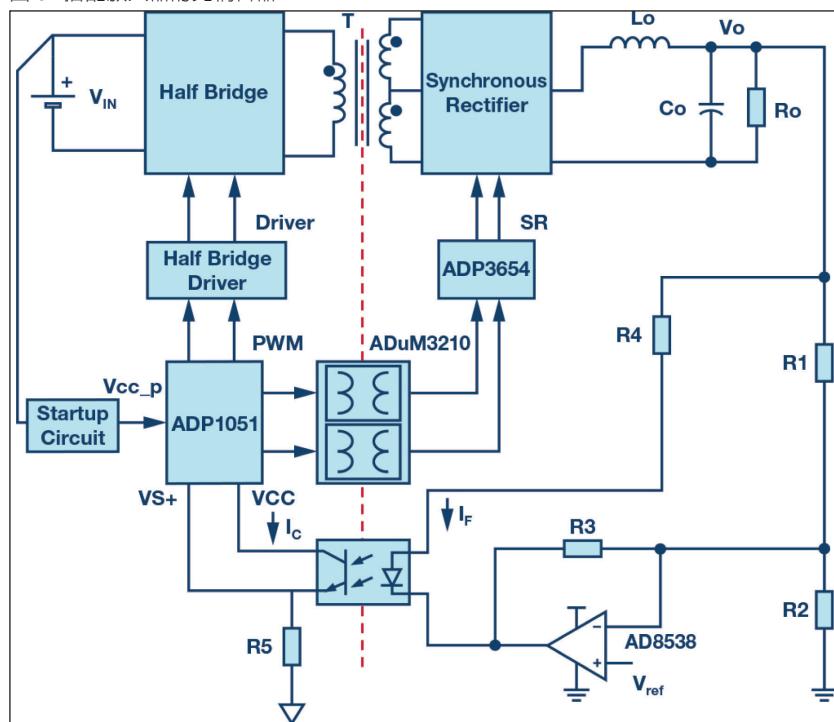
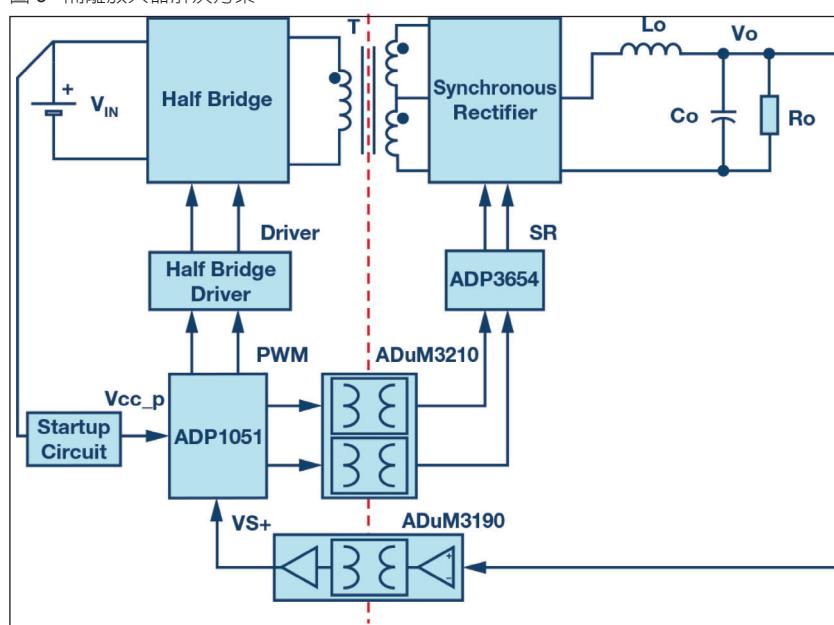


圖 9：隔離放大器解決方案



## 隔離放大器

第三種方法是隔離放大器，ADuM3190 為其一例，如圖 9 所示。對於具有一次側控制器的線性回授電源而言，ADuM3190 由於其相較於光耦合器的高帶寬和高精度，可說是一款理想的隔離放大器。與常用的光耦合器及分路穩壓器 (shunt regulator)

解決方案相比，此方案能改善暫態響應、功率密度、和穩定性。藉由正確的設計，ADuM3190 可實現  $\pm 1\%$  的輸出電壓精度。

## 結論

隨著近年來電信、網路、電腦系統中的電力系統對於安全性、可靠性、功率密度、及智慧型管理等方面要求的不斷提高，隔離技術的角色地位將越形重要。與傳統的光電耦合器及變壓器解決方案相比，ADI 的 iCoupler 系列產品 ADuM3210、ADuM7223、及 ADuM3190，在與數位電源控制器 ADP1051 的搭配下，提供了高可靠性、高頻寬、及高功率密度的解決方案。

## 參考

- Baoxing Chen. "Microtransformer Isolation Benefits Digital Control." Power Electronics Technology, October, 2008.
- ADP1051 Data Sheet. Analog Devices, Inc., 2014. [CTA](#)