

電流感測放大器設計指南: PoE、USB PD、桌上型電腦及伺服器應用解析

Current Sense Application Team | AN091

在現代電子系統中，精確的電流監控對於系統安全、效能優化以及能源管理至關重要。Current sense（電流感測）技術，透過偵測電阻（ R_{shunt} ）上的電壓差，能即時掌握系統中的電流變化，並將資訊回饋給主控單元（如 EC 或 MCU），以便進行後續的判斷與控制。隨著應用需求的多元化，Current sense 產品也發展出類比型與數位型兩種主要架構，各自具備不同的優勢與適用場景。本篇應用筆記將針對這兩種架構的特性與應用進行說明。

目錄

1	電流感測放大器簡介	2
2	立錫精選電流感測放大器系列	3
2.1	數位型電流感測放大器	3
2.1.1	RTQ6132、RTQ6134 和 RTQ6136	3
2.1.2	RTQ6059	3
2.1.3	RTQ6053、RTQ6053B 和 RTQ6056	3
2.2	類比型電流感測放大器	4
2.2.1	RTQ6060A 和 RTQ6060B	4
2.2.2	RTQ6050 和 RTQ6052	4
3	應用範例	5
3.1	以太網供電 (PoE, Power over Ethernet)	5
3.2	USB 電源傳輸 (PD, Power Delivery)	6
3.3	桌上型電腦 (Desktops)	8
3.4	伺服器 (Servers)	8
4	結論	10

1 電流感測放大器簡介

電流感測放大器 (Current sense amplifiers) 的主要功能是偵測 R_{shunt} 上的電壓差，並將其轉換為類比或數位訊號，提供給系統的 EC/MCU 進行判斷與控制。類比與數位型電流感測放大器的差異在於，數位型會將偵測到的 R_{shunt} 電壓差透過 I^2C /SMBus 等協議回報給 MCU，而類比型則是直接輸出相對應的電壓訊號，由 MCU 進行電流判斷。

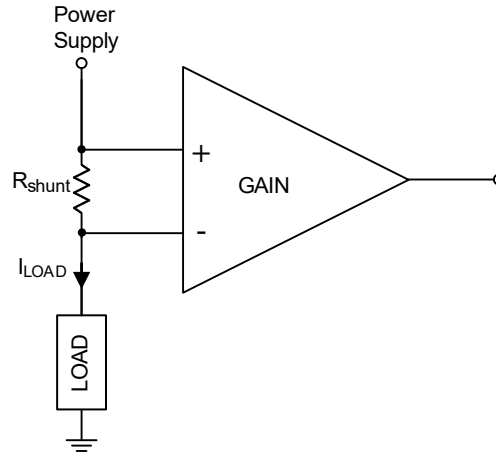


圖1. 電流感測放大器基本架構

類比型的優點是響應速度快，且可放大 R_{shunt} 的電壓訊號，適合需要即時回饋或 OCP（過電流保護）功能的應用。數位型則能提供完整的電壓、電流及功率資訊，並具備額外的警報 (alarm) 功能，能有效減輕 MCU 的運算負擔，特別適合有待機需求的系統。

總結來說，若系統需要即時回饋或 OCP 功能，建議選用類比型；若系統重視待機管理或需整合更多電源監控資訊，則數位型會是更合適的選擇。

表 1. 類比型 vs. 數位型電流感測放大器比較表

類型	優點	缺點
類比型	- 反應速度快：類比訊號處理延遲低，適合即時監控。 - 電路簡單：設計與實現較為直接，成本通常較低。 - 高解析度：可提供連續的電流變化資訊，解析度不受 ADC 限制。	- 易受雜訊干擾：類比訊號容易受到外部雜訊影響，需良好設計抗干擾措施。 - 後續處理需額外 ADC：若要與數位系統整合，仍需 ADC 轉換。
數位型	- 易於整合：可直接與微控制器、數位系統連接，便於資料儲存與分析。 - 功能豐富：可內建多種診斷、校正、通訊協定（如 I^2C、SPI 等）。	- 反應速度較慢：受限於取樣率與數位處理速度，對於極高速變化的電流不如類比即時。 - 解析度受限：受 ADC 位元數影響，解析度有限。

2 立錫精選電流感測放大器系列

2.1 數位型電流感測放大器

表 2. 數位產品比較表

數位型	共模電壓操作範圍	最大偏移誤差	最大增益誤差	檢測電壓輸入範圍	包裝
RTQ6136	0V to 60V	4uV	0.1%	可編程	TWCSP-8P, TSOT-28
RTQ6134	0V to 60V	80uV	0.5%	可編程	TWCSP-8P
RTQ6132	0V to 60V	40uV	0.3%	可編程	TSOT-28
RTQ6059	0V to 32V	50uV	0.3%	可編程	TSOT-23-8, MSOP-10
RTQ6056	0V to 36V	10uV	0.12%	固定	MSOP-10
RTQ6053/RTQ6053B	0V to 36V	25uV	0.3%	固定	VQFN-16L

2.1.1 [RTQ6132](#)、[RTQ6134](#) 和 [RTQ6136](#)

[RTQ6132](#)、[RTQ6134](#) 和 [RTQ6136](#) 是數位型高精度電流感測器，專為 48V 伺服器系統設計，適合高側或低側測量。[RTQ6132](#) 具有 0.3% 的最大增益誤差和 40uV 的最大偏移；[RTQ6134](#) 具有 0.5% 的最大增益誤差和 80uV 的最大偏移；而 [RTQ6136](#) 可提供更高精度，擁有 0.1% 的最大增益誤差和 4uV 的最大偏移誤差。

此系列產品能夠監測的匯流排電壓範圍為 0V 至 60V，並配備數位介面，支援 I²C 和 SMBus 通訊。[RTQ6134](#) 配備 12 位 ADC，而 [RTQ6132](#) 和 [RTQ6136](#) 則擁有 16 位 ADC，能夠報告電流、匯流排電壓和系統功率。它們提供報警限值設定功能，用於過電流和欠電流事件的警示。

此系列產品的供電範圍為 2.5V 至 5.5V，並且具有 75V 的共模電壓絕對最大額定值 (AMR)，是 48V 伺服器系統的理想選擇。

2.1.2 [RTQ6059](#)

[RTQ6059](#) 數位輸出功率感測器具備高精度電流感測功能，支援高側和低側感測以及雙向測量，提供 0.3% 的最大增益誤差和 50uV 的最大偏移。最大的特色是具有可編程增益的電壓輸入範圍 (PGA)，包括 ±40mV、±80mV、±160mV 和 ±320mV，能夠靈活適應不同的應用需求。可監測的匯流排電壓範圍為 0V 至 32V，並配備數位介面，支援 I²C 和 SMBus 通訊。內建 12 位 ADC，能精確報告電流、匯流排電壓和系統功率。供電範圍為 3V 至 5.5V，適合多種電源系統。這款感測器提供了高精度、靈活性和可靠性，適合需要精確電流與功率監測的應用場景。

2.1.3 [RTQ6053](#)、[RTQ6053B](#) 和 [RTQ6056](#)

[RTQ6053](#)、[RTQ6053B](#) 和 [RTQ6056](#) 是數位輸出功率監視器，具備高精度電流感測功能，支援高側和低側感測以及雙向測量，最大的特色是提供多種保護功能，包括可編程警告閾值設定，以及過電流、過電壓和過功率的報警功能，確保系統的安全性和穩定性。[RTQ6053](#) 和 [RTQ6053B](#) 提供 0.3% 的最大增益誤差和 25uV 的最大偏移，而 [RTQ6056](#) 則具備更高精度，擁有 0.12% 的最大增益誤差和 10uV 的最大偏移。這些設備能夠監測的匯流排電壓範圍為 0V 至 36V。具有數位介面，支援 I²C 和 SMBus 通訊，並內建 16 位 ADC，能夠精確報告電流、匯流排電壓和系統功率。供電範圍為 2.7V 至 5.5V，適合多種應用場景。

2.2 類比型電流感測放大器

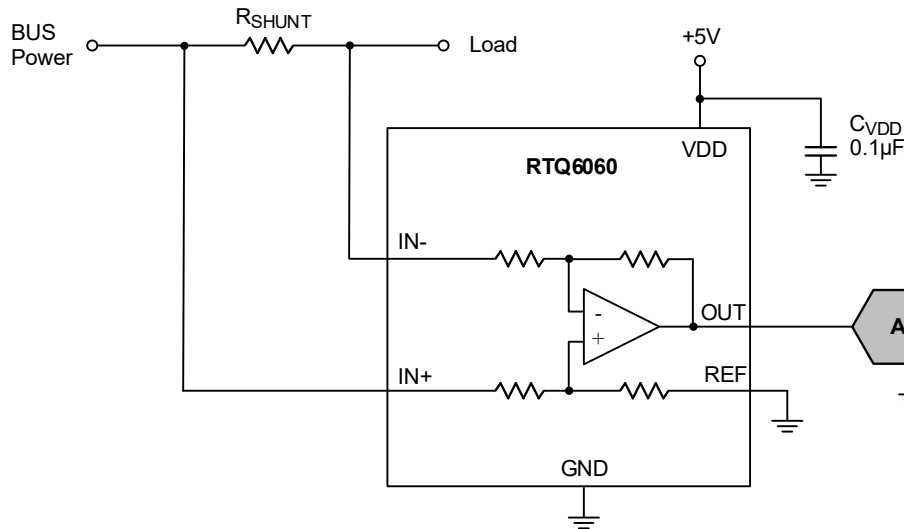


FIGURE 2. EXAMPLE OF TYPICAL APPLICATION CIRCUIT FOR

表 3. 類比型產品比較表

類比型	共模電壓操作範圍	最大偏移誤差	最大增益誤差	電壓增益	包裝
RTQ6060A	0V to 36V	$\pm 35\mu\text{V} \sim \pm 100\mu\text{V}$	$\pm 0.4\%$	50V/V、75V/V、 100V/V、200V/V、 500V/V、1000V/V	SC-70-6
RTQ6060B	0V to 36V	$\pm 150\mu\text{V}$	$\pm 0.8\%$	50V/V、75V/V、 100V/V、200V/V、 500V/V、1000V/V	SC-70-6
RTQ6052	2V to 80V	2.5mV	2%	100V/V	MSOP-8, SOP-8
RTQ6050	2V to 80V	2.5mV	2%	20V/V	MSOP-8, SOP-8

2.2.1 [RTQ6060A](#) 和 [RTQ6060B](#)

[RTQ6060A](#) 和 [RTQ6060B](#) 是高精度類比型電流感測放大器，可支援 0V 至 36V 共模電壓範圍，以及高/低端及雙向電流量測，適用於多種應用。在全溫度範圍內具有極低增益誤差，[RTQ6060A](#) 為 $\pm 0.4\%$ ，[RTQ6060B](#) 為 $\pm 0.8\%$ ，並僅有 10ppm/°C 的增益漂移。輸出偏移電壓最低可達 $\pm 35\mu\text{V}$ ，最大僅 $\pm 150\mu\text{V}$ ，且偏移漂移僅 0.5uV/°C。產品提供六種增益選擇（50V/V 至 1000V/V），靜態電流消耗僅 100uA，適合高精度、低功耗的電流感測應用。

2.2.2 [RTQ6050](#) 和 [RTQ6052](#)

[RTQ6050](#) 和 [RTQ6052](#) 是類比型電流感測放大器，額外具備帶隙參考源及輸出鎖定功能的比較器。支援 2V 至 80V 高共模電壓範圍，提供 20V/V ([RTQ6050](#)) 和 100V/V ([RTQ6052](#)) 增益作選擇。此系列產品內建開漏輸出 (open drain output) 的比較器，以 0.6V 內部參考電壓作為比較基準，並可透過外接電阻分壓器設定輸出跳變的電流閾值。比較器具備自鎖功能，輸出鎖定後，只需將 RESET 引腳接地，即可解出輸出鎖定。

3 應用範例

3.1 以太網供電 (PoE, Power over Ethernet)

PoE (Power over Ethernet) 是一種能夠透過網路線 (Ethernet) 同時傳輸資料和電力，讓網路設備如 IP 攝影機、無線基地台、網路電話等無需額外電源線，只要一條網路線就能運作，可大幅簡化佈線和安裝流程，提升系統的彈性與便利性。電流感測放大器可以協助 PoE 完成以下幾個功能：

電流檢測放大器功能	PoE 應用說明
安全保護	PSE 需監控輸出電流，避免過流造成設備損壞或線路過熱，確保系統安全。
協議偵測與分類	PoE 協議在供電前會量測電流，判斷 PD 類型與功率需求 (Class 0~8)，以提供合適電力。
功率管理	透過電流感測，PSE 可動態分配總功率，確保多個 PD 同時運作時不會超載。
故障偵測	發現異常電流（如短路、過載）時，PSE 可即時切斷電源，保護設備與線路。

立錡 [RTQ6056](#) 可用於 PoE 輸入的電源監控，如圖3 所示。PoE 的輸入電壓範圍為 37V 至 57V，雖然 [RTQ6056](#) 的最大操作電壓僅支援到 36V，無法直接放在高壓端，不過 [RTQ6056](#) 具備低壓檢測功能，因此可將其配置於低電壓端來監控系統控制器，仍可作為此應用的解決方案。

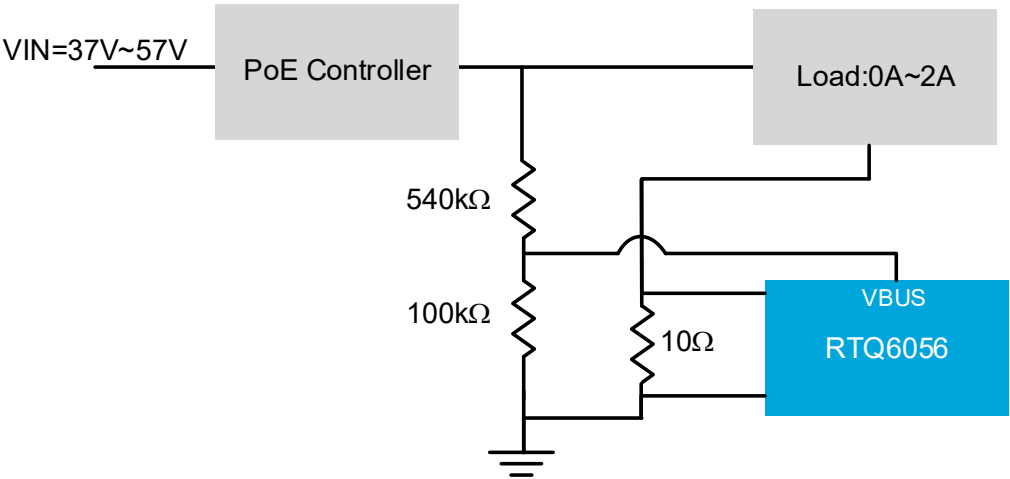


圖3. [RTQ6056](#) 應用於 PoE 系統

圖4 為 [RTQ6056](#) 的誤差評估曲線 (error estimation curve)。從圖中可以看出，在常溫條件下負載電流介於 1A 至 2A 時，量測誤差僅約 1%，高精準度可針對 PoE 應用做出正確的判斷。

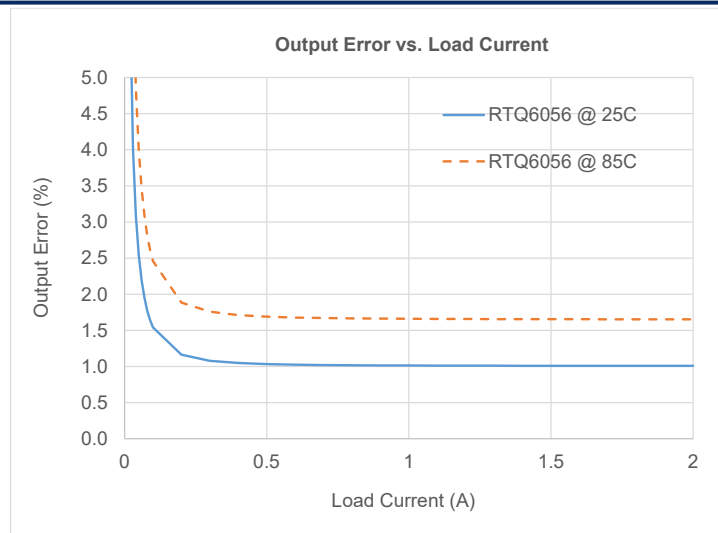


圖4. [RTQ6056](#) 誤差評估曲線

3.2 USB 電源傳輸 (PD, Power Delivery)

PD (Power Delivery) 是 USB-IF 制定的 USB Type-C 充電協議，可依設備需求協商電壓與電流。它具備快速、安全與雙向供電特性，廣泛應用於手機、筆電與平板等裝置，已成為現代 USB 充電的主流標準。電流感測放大器可以協助 PD 應用提供以下幾個功能：

電流感測放大器功能	PD應用說明
安全保護	電流感測可即時監控線路電流，防止過流，避免設備損壞或安全事故。
協議要求	PD協議需精確電流感測，確保供電端輸出電流不超過協商值。
效率與溫度管理	透過電流感測優化充電效率，並根據電流調整策略，避免過熱。
狀態回報	可將電流資訊回報給主控或用戶，讓用戶了解充電狀態。

現今的顯示器多配備 USB PD 輸出，可供外接鍵盤或其他 OTG 裝置使用。為了符合 PD 規範，系統會在每一個 port 加入一個電流檢測放大器，用來監控輸出功率，如圖5 所示。立錡 [RTQ6059](#) 具備兩個 address select pin，可設定成多達 16 個不同位址，非常適合應用於單一 EC (Embedded Controller) 需要同時管理多個 USB 接口的應用場景。此外，[RTQ6059](#) 還能依需求設定不同的電流檢測範圍 (40mV/80mV/160mV/320mV)，大幅提升設計彈性，是多埠 USB PD 系統的理想解決方案。

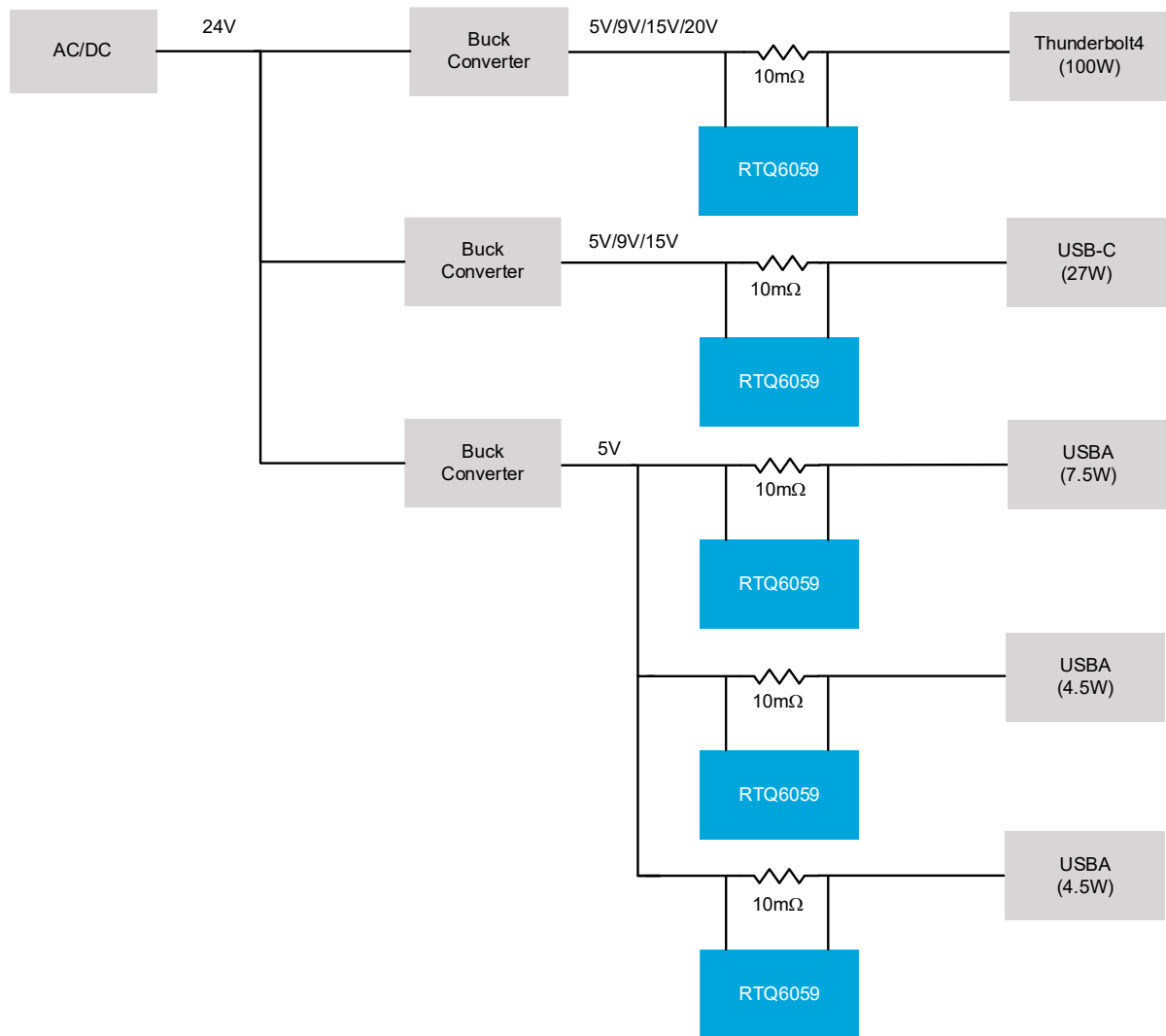


圖5. [RTQ6059](#) 應用於USB系統

圖6 為 [RTQ6059](#) 的誤差評估曲線 (error estimation curve)。可以看到，在常溫條件下，負載電流介於 3A 至 4A 時，量測誤差僅約 1%。

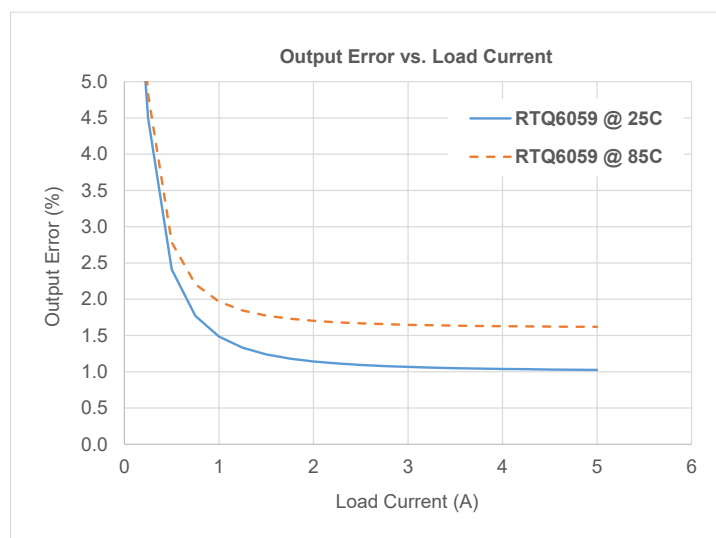


圖6. [RTQ6059](#) 誤差評估曲線

3.3 桌上型電腦 (Desktops)

在桌上型電腦系統中，常需要利用電流感測放大器來監控輸入電源。透過即時監控，系統能進一步最佳化整體效能，而 [RTQ6060A](#) 和 [RTQ6060B](#) 正適合作為電源監控元件，如圖7 所示。其優勢在於能快速響應輸入電流變化，並即時回報給 EC (Embedded Controller)，讓 EC 依據回傳資訊進行相應的系統調整與控制。

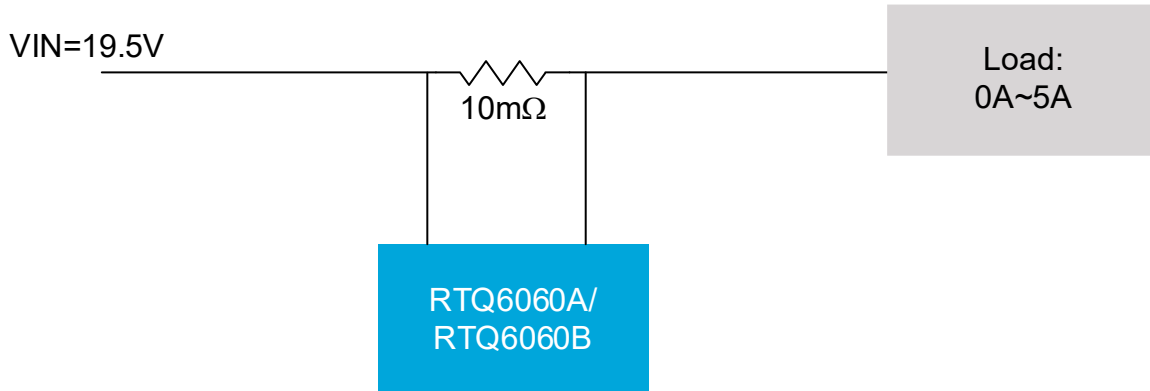


圖7. [RTQ6060A](#) 和 [RTQ6060B](#) 應用於桌上型電腦

圖8為 [RTQ6060A](#) 在 Gain=200 條件下的誤差評估曲線 (error estimation curve)。可以看到，在常溫下負載電流介於 3A 至 5A 時，量測誤差僅約 1%。

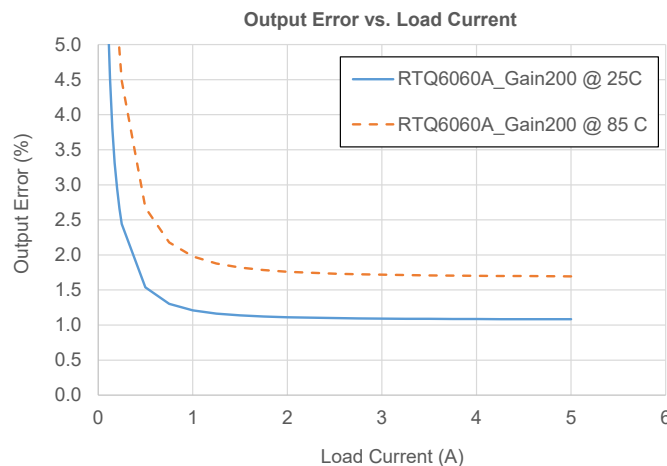


圖8. [RTQ6060A](#) 誤差評估曲線

3.4 伺服器 (Servers)

伺服器在現代資料中心中扮演著關鍵角色，對於穩定性、效率和安全性的要求極高。電源感測放大器在伺服器系統中具有多項重要功能。首先，必須能夠即時監測伺服器的電壓、電流和功耗，協助管理者掌握每個元件的用電狀況，避免因電源異常導致系統故障或資料損失。其次，透過精確的電源監控，能有效預防過載、過熱等問題，提升整體系統的可靠性與安全性。

此外，必須達到優化能源使用效率。隨著資料中心規模不斷擴大，能源成本成為重要考量。透過監控和分析伺服器的用電情形，管理者可以調整運作策略，降低不必要的耗能，達到節能減碳的目標。電源感測放大器可支援動態電源管理，根據伺服器負載自動調整供電，提升效能並延長硬體壽命。

最後，還需提供遠端監控和診斷功能，讓管理者即使不在現場也能即時掌握伺服器狀態，快速處理異常情況，減少維護時間和人力成本。綜合以上原因，電源檢測放大器已成為現代伺服器不可或缺的關鍵元件，對於提升資料中心的運作效率和穩定性具有重要意義。電流感測放大器 可以協助系統完成以下功能：

電流感測放大器功能	伺服器應用說明
即時電源監控	監測電壓、電流和功耗，掌握伺服器各元件用電狀況，避免電源異常導致故障或資料損失。
提升系統可靠性與安全性	預防過載、過熱等問題，確保伺服器穩定運作。
優化能源使用效率	分析用電情形，調整運作策略，降低不必要耗能，達到節能減碳目標。
支援動態電源管理	根據負載自動調整供電，提升效能並延長硬體壽命。
遠端監控與診斷	提供遠端即時監控與異常診斷，減少維護時間與人力成本。

立錡推出的 [RTQ6136](#) 專為伺服器電源系統的監控需求而設計，能提供精確的電壓與電流回報。由於伺服器系統的輸入電壓約為 48V，設計時通常會依循 70% 降額 (Derating) 原則，因此在選擇電源監控產品時，必須特別注意其最大允許電壓 (AMR) 是否足夠。[RTQ6136](#) 的 AMR 高達 75V，完全符合 70% 降額設計的需求，因此非常適合伺服器電源監控應用，如圖9 所示。

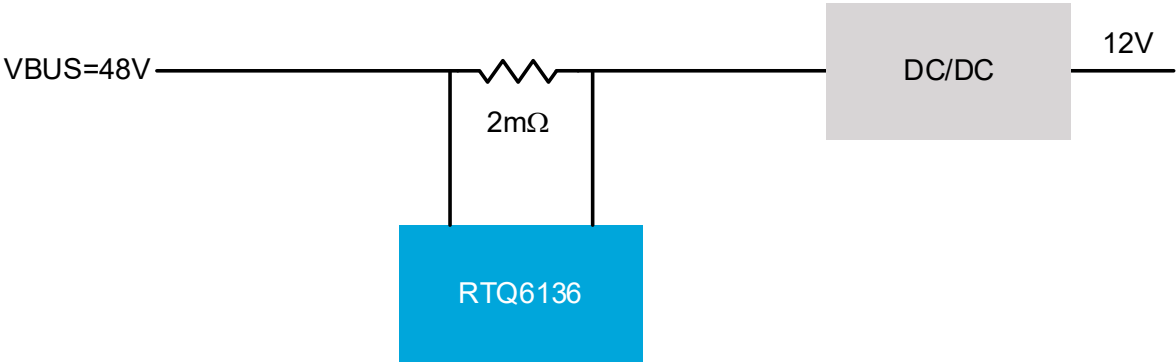


圖 9. [RTQ6136](#) 應用於伺服器

圖 10 為 [RTQ6136](#) 的誤差評估曲線 (error estimation curve)。可以看到，在常溫下負載電流介於 3A 至 20A 時，量測誤差僅約 1%。

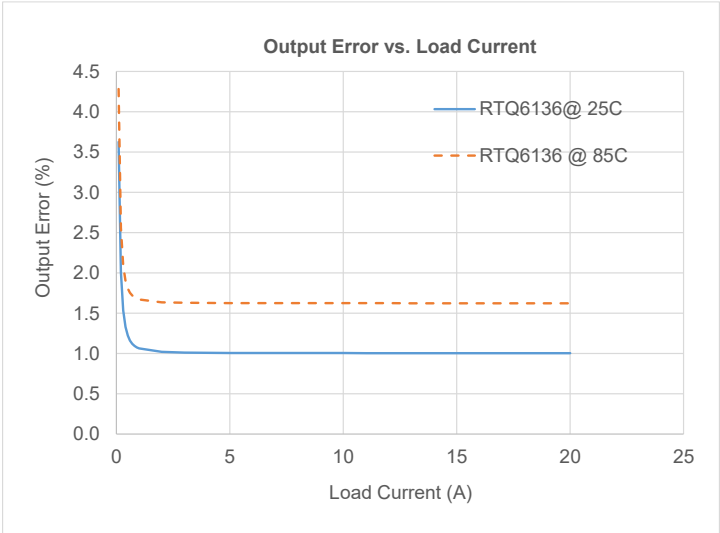


圖 10. [RTQ6136](#) 誤差評估曲線

4 結論

本應用筆記探討電流感測技術在電子系統中的重要性與應用。選用合適的感測元件與設計方法，不僅能精準監控電流，還能提升系統的效率與安全性。電流感測廣泛應用於電源管理、故障偵測與系統監控，是不可或缺的關鍵技術。隨著電子設備持續朝高效能與小型化發展，電流感測將更顯重要。設計人員在選擇方案時，應同時考量精度、成本、可靠性與系統需求，以達到最佳效益。

若要獲得更多產品的產品資訊，請[訂閱我們的電子報](#)。

Richtek Technology Corporation

14F, No. 8, Taiyuan 1st St., Zhubei City,
Hsinchu County 302082, Taiwan (R.O.C.)
Tel: 886-3-5526-789

Richtek products are sold by description only. Richtek reserves the right to change the circuitry and/or specifications without notice at any time. Customers should obtain the latest relevant information and data sheets before placing orders and should verify that such information is current and complete. Richtek cannot assume responsibility for use of any circuitry other than circuitry entirely embodied in a Richtek product. Information furnished by Richtek is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Richtek or its subsidiaries for its use; nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Richtek or its subsidiaries.