

电流感测放大器设计指南: PoE、USB PD、桌面计算机及服务 器应用解析

Current Sense Application Team | AN091

在现代电子系统中，精确的电流监控对于系统安全、效能优化以及能源管理至关重要。Current sense（电流感测）技术，透过侦测电阻 (Rshunt) 上的电压差，能实时掌握系统中的电流变化，并将信息回馈给主控单元（如 EC 或 MCU），以便进行后续的判断与控制。随着应用需求的多元化，current sense 产品也发展出模拟数字模拟型与数字型两种主要架构，各自具备不同的优势与适用场景。本篇应用笔记将针对这两种架构的特性与应用进行说明。

目錄

1	電流感測放大器簡介	2
2	立錡精選電流感測放大器系列	3
2.1	數字型電流感測放大器	3
2.1.1	RTQ6132、RTQ6134 和 RTQ6136	3
2.1.2	RTQ6059	3
2.1.3	RTQ6053、RTQ6053B 和 RTQ6056	3
2.2	模擬型電流感測放大器	4
2.2.1	RTQ6060A 和 RTQ6060B	4
2.2.2	RTQ6050 和 RTQ6052	4
3	應用範例	4
3.1	以太網供電 (PoE, Power over Ethernet)	4
3.2	USB 電源傳輸 (PD, Power Delivery)	5
3.3	桌面計算機 (Desktops)	7
3.4	伺服器 (Servers)	8
4	結論	10

1 电流感测放大器简介

电流感测放大器(Current sense amplifiers) 的主要功能是侦测 R_{shunt} 上的电压差，并将其转换为模拟或数字模拟或数字讯号，提供给系统的 EC/MCU 进行判断与控制。模拟数字模拟与数字型电流感测放大器的差异在于，数字型会将侦测到的 R_{shunt} 电压差透过 I²C/SMBus 等协议回报给 MCU，而模拟型则是直接输出相对应的电压讯号，由 MCU 进行电流判断。

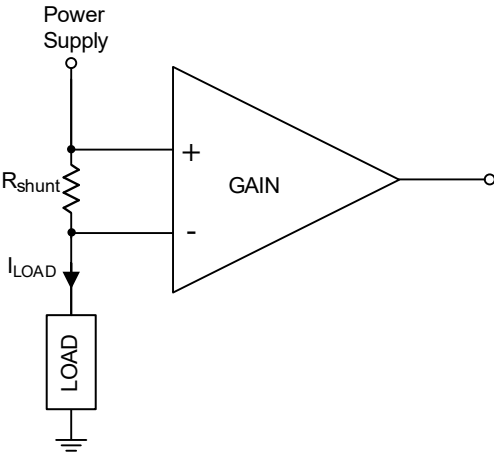


图1. 电流感测放大器基本架构

模拟型的优点是响应速度快，且可放大 R_{shunt} 的电压讯号，适合需要实时回馈或 OCP（过电流保护）功能的应用。数字型则能提供完整的电压、电流及功率信息，并具备额外的警报 (alarm) 功能，能有效减轻 MCU 的运算负担，特别适合有待机需求的系统。

总结来说，若系统需要实时回馈或 OCP 功能，建议选用模拟型；若系统重视待机管理或需整合更多电源监控信息，则数字型会是更合适的选择。

表 1. 模拟型 vs.数字型电流感测放大器比较表

类型	优点	缺点
模拟型	- 反应速度快：模拟讯号处理延迟低，适合实时监控。 - 电路简单：设计与实现较为直接，成本通常较低。 - 高分辨率：可提供连续的电流变化信息，分辨率不受 ADC 限制。	- 易受噪声干扰：模拟讯号容易受到外部噪声影响，需良好设计抗干扰措施。 - 后续处理需额外 ADC：若要与数字系统整合，仍需 ADC 转换。
数字型	- 易于整合：可直接与微控制器、数字系统连接，便于数据储存与分析。 - 功能丰富：可内建多种诊断、校正、通讯协议（如 I²C、SPI 等）。	- 反应速度较慢：受限于取样率与数字处理速度，对于极高速变化的电流不如模拟实时。 - 分辨率受限：受 ADC 位数影响，分辨率有限。

2 立锟精选电流感测放大器系列

2.1 数字型电流感测放大器

表 2. 数字型产品比较表

数字型	共模电压操作范围	最大偏移误差	最大增益误差	检测电压输入范围	包装
RTQ6136	0V to 60V	4uV	0.1%	可编程	TWCSP-8P, TSOT-28
RTQ6134	0V to 60V	80uV	0.5%	可编程	TWCSP-8P
RTQ6132	0V to 60V	40uV	0.3%	可编程	TSOT-28
RTQ6059	0V to 32V	50uV	0.3%	可编程	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](#) 是数字型高精度电流传感器，专为 48V 服务器系统设计，适合高侧或低侧测量。[RTQ6132](#) 具有 0.3% 的最大增益误差和 40uV 的最大偏移；[RTQ6134](#) 具有 0.5% 最大增益误差和 80uV 的最大偏移；而 [RTQ6136](#) 可提供更高精度，拥有 0.1% 的最大增益误差和 4uV 的最大偏移误差。

这些设备能够监测的总线电压范围为 0 V 至 60V，并配备数字接口，支持 I²C 和 SMBus 通讯。[RTQ6134](#) 配备 12 位 ADC，而 [RTQ6132](#) 和 [RTQ6136](#) 则拥有 16 位 ADC，能够报告电流、总线电压和系统功率。它们提供报警限值设定功能，用于过电流和欠电流事件的警示。

这些设备的供电范围为 2.5V 至 5.5V，并且具有 75V 的共模电压绝对最大额定值 (AMR)，是 48V 服务器系统的理想选择。

2.1.2 [RTQ6059](#)

[RTQ6059](#) 数字输出功率传感器具备高精度电流感测功能，支持高侧和低侧感测以及双向测量，提供 0.3% 的最大增益误差和 50uV 的最大偏移。最大的特色是具有可编程增益的电压输入范围 (PGA)，包括 ±40mV、±80mV、±160mV 和 ±320mV，能够灵活适应不同的应用需求。

设备可监测的总线电压范围为 0V 至 32V，并配备数字接口，支持 I²C 和 SMBus 通讯。内建 12 位 ADC，能够精确报告电流、总线电压和系统功率。供电范围为 3V 至 5.5V，适合多种电源系统。这款传感器提供了高精度、灵活性和可靠性，适合需要精确电流与功率监测的应用场景。

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

[RTQ6053](#)、[RTQ6053B](#) 和 [RTQ6056](#) 是数字输出功率监视器，具备高精度电流感测功能，支持高侧和低侧感测以及双向测量，最大的特色是提供多种保护功能，包括可编程警告阈值设定，以及过电流、过电压和过功率的报警功能，确保系统的安全性和稳定性。[RTQ6053](#) 和 [RTQ6053B](#) 提供 0.3% 的最大增益误差和 25uV 的最大偏移，而 [RTQ6056](#) 则具备更高精度，拥有 0.12% 的最大增益误差和 10uV 的最大偏移。这些设备能够监测的总线电压范围为 0V 至 36V。它们配备数字接口，支持 I²C 和 SMBus 通讯，并内建 16 位 ADC，能够精确报告电流、总线电压和系统功率。供电范围为 2.7V 至 5.5V，适合多种应用场景。

2.2 模拟型电流感测放大器

表 3. 模拟型产品比较表

模拟型	共模电压操作范围	最大偏移误差	最大增益误差	电压增益	包装
RTQ6060A	0V to 36V	±35uV ~ ±100uV	±0.4%	50V/V、75V/V、 100V/V、200V/V、 500V/V、1000V/V	SC-70-6
RTQ6060B	0V to 36V	±150uV	±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](#) 是一款高精度模拟型电流感测放大器，可支持 -0.3V 至 36V 共模电压范围，以及高/低端及双向电流量测，适用于多种应用。在全温度范围内具有极低增益误差，[RTQ6060A](#) 为 ±0.4%，[RTQ6060B](#) 为 ±0.8%，并仅有 10ppm/°C 的增益漂移。输出偏移电压最低可达 ±35uV，最大仅 ±150uV，且偏移漂移仅 0.5uV/°C。产品提供六种增益选择（50V/V 至 1000V/V），静态电流消耗仅 100uA，适合高精度、低功耗的电流感测应用。

2.2.2 [RTQ6050](#) 和 [RTQ6052](#)

[RTQ6050](#) 和 [RTQ6052](#) 模拟型电流感测放大器，额外具备带隙参考源及输出锁定功能的比较器。支持 2V 至 80V 高共模电压范围，提供 20V/V ([RTQ6050](#)) 和 100V/V ([RTQ6052](#)) 增益选择。此产品内建开漏输出 (open drain output) 的比较器，以 0.6V 内部参考电压作为比较基准，并可透过外接电阻分压器设定输出跳变的电流阈值。比较器具备自锁功能，输出锁定后，只需将 RESET 引脚接地，即可解出输出锁定。

3 应用范例

3.1 以太网供电 (PoE, Power over Ethernet)

PoE (Power over Ethernet) 是一种能够透过网络线 (Ethernet) 同时传输数据和电力，让网络设备如 IP 摄影机、无线基地台、网络电话等无需额外电源线，只要一条网络线就能运作，可大幅简化布线和安装流程，提升系统的弹性与便利性。电流感测放大器 可以协助 PoE 完成以下几个功能：

电流检测放大器功能	PoE 应用说明
安全保护	PSE 需监控输出电流，避免过流造成设备损坏或线路过热，确保系统安全。
协议侦测与分类	PoE 协议在供电前会量测电流，判断 PD 类型与功率需求 (Class 0~8)，以提供合适电力。
功率管理	透过电流感测，PSE 可动态分配总功率，确保多个 PD 同时运作时不会超载。
故障侦测	发现异常电流（如短路、过载）时，PSE 可实时切断电源，保护设备与线路。

立锜 [RTQ6056](#) 可用于 PoE 输入的电源监控，如[图2](#)所示。由于 PoE 的输入电压范围为 37V 至 57V，而 [RTQ6056](#) 的最大操作电压仅支持到 36V，因此无法直接放在高压端。不过 [RTQ6056](#) 具备低压检测功能，因此将其配置于低压端来监控系统控制器，即可作为此应用的解决方案。

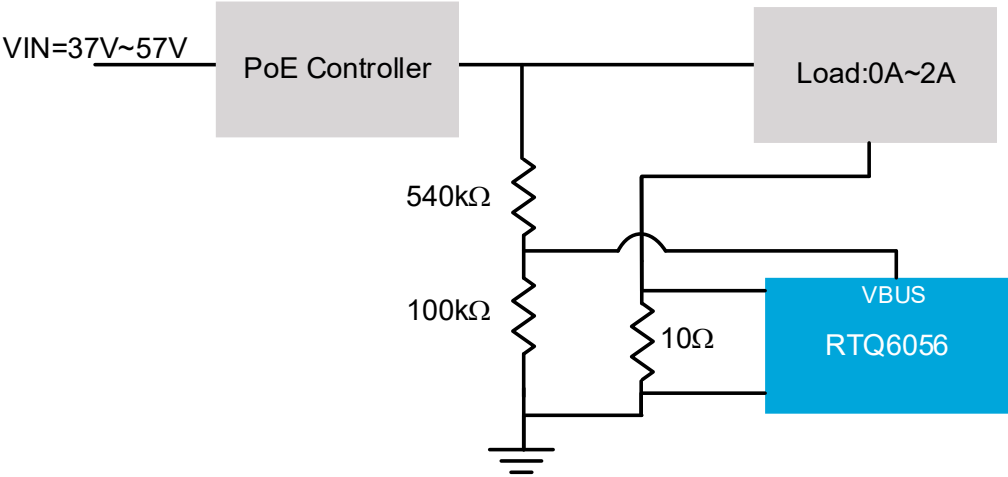


图2. [RTQ6056](#) 应用于 PoE 系统

图3 为 [RTQ6056](#) 误差评估曲线 (error estimation curve)。从图中可以看出，在常温条件下负载电流介于 1A 至 2A 时，量测误差仅约 1%，高精度度可针对PoE应用做出正确的判断。

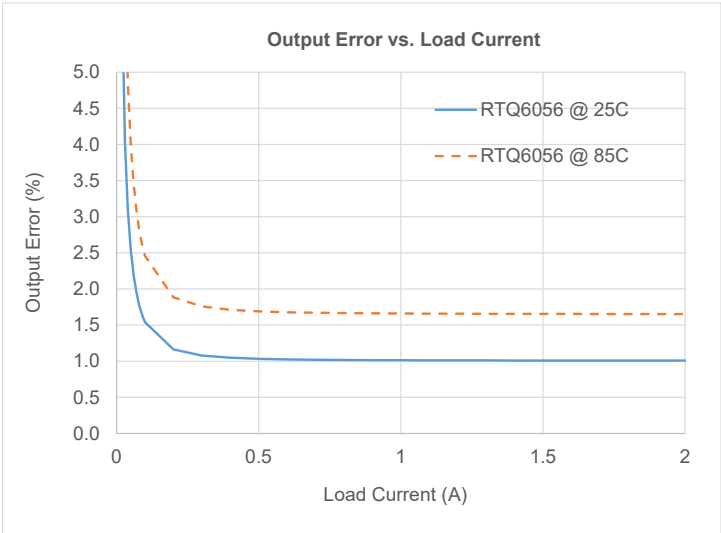


图3. [RTQ6056](#) 误差评估曲线

3.2 USB 电源传输 (PD, Power Delivery)

PD (Power Delivery) 是 USB-IF 制定的 USB Type-C 充电协议，可依设备需求协商电压与电流。它具备快速、安全与双向供电特性，广泛应用于手机、笔电与平板等装置，已成为现代 USB 充电的主流标准。电流感测 放大器可以协助 PD 提供以下几个功能：

电流感测放大器功能	PD 应用说明
安全保护	电流感测可实时监控线路电流，防止过流，避免设备损坏或安全事故。
协议要求	PD 协议需精确电流感测，确保供电端输出电流不超过协商值。
效率与温度管理	透过电流感测优化充电效率，并根据电流调整策略，避免过热。
状态回报	可将电流信息回报给主控或用户，让用户了解充电状态。

现今的显示器多配备 USB PD 输出，可供外接键盘或其他 OTG 装置使用。为了符合 PD 规范，系统会在每一个 port 加入一个电流检测放大器，用来监控输出功率，如图4 所示。

立锜 [RTQ6059](#) 具备两个 address select pin，可设定成多达 16 个不同地址，非常适合应用于单一 EC (Embedded Controller) 需要同时管理多个 USB 接口的应用场景。此外，[RTQ6059](#) 还能依需求设定不同的电流检测范围 (40mV/80mV/160mV/320mV)，大幅提升设计弹性，是多端口 USB PD 系统的理想解决方案。

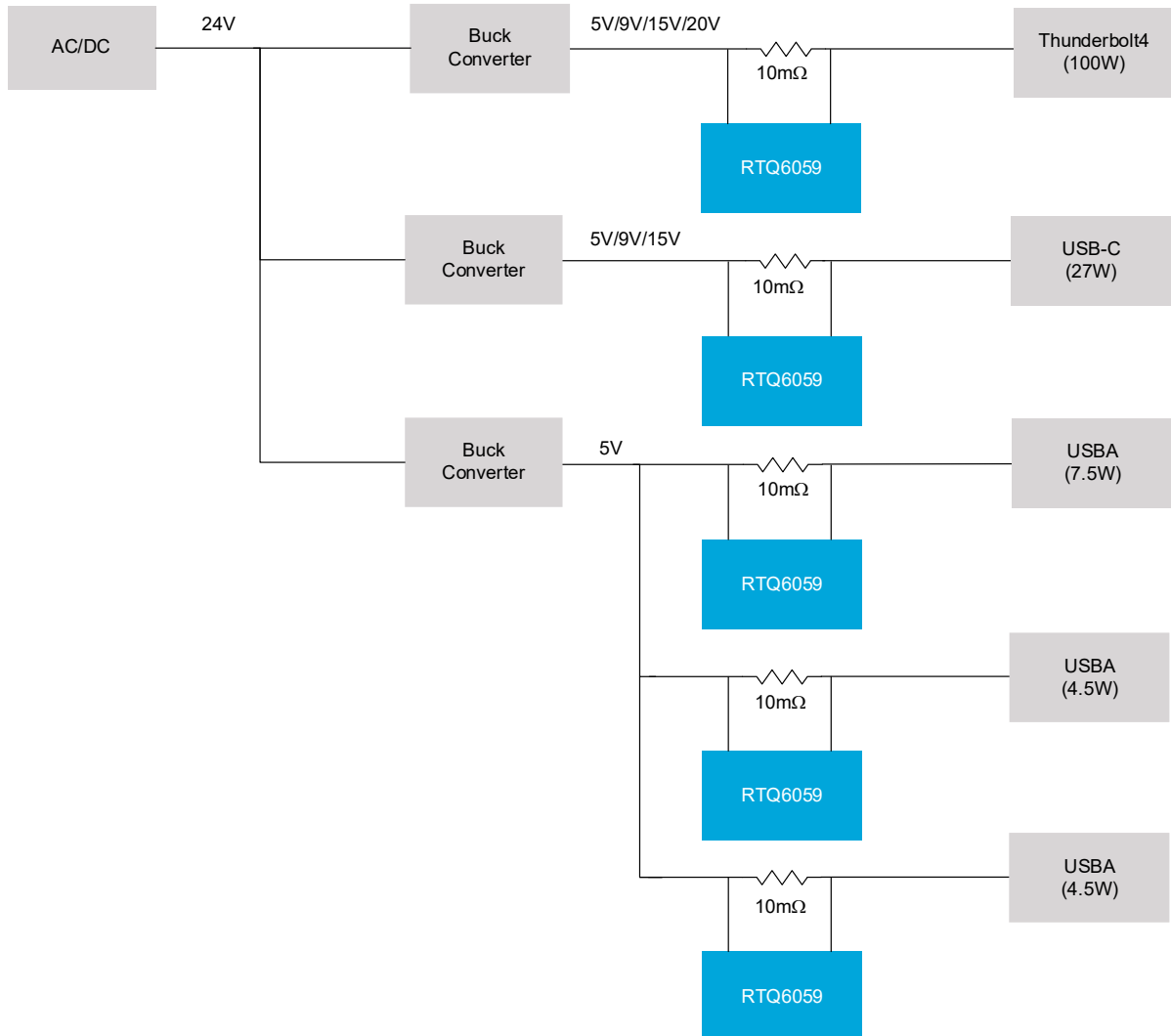


图4. [RTQ6059](#) 应用于 USB 系统

图5 为 [RTQ6059](#) 的误差评估曲线 (error estimation curve)。可以看到，在常温条件下，负载电流介于 3A 至 4A 时，量测误差仅约 1%。

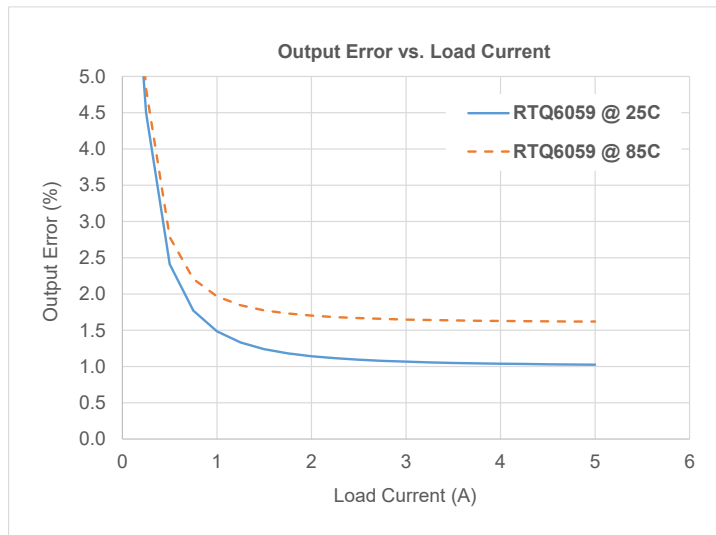


图5. [RTQ6059](#) 误差评估曲线

3.3 桌面计算机 (Desktops)

在桌面计算机系统中，常需要透过电流检测放大器来监控输入电源。借由实时监控输入电源，系统便能进一步优化整体效能。如[图6](#)所示，我们推荐使用[RTQ6060A](#)和[RTQ6060B](#)作为电源监控组件。其优势在于能快速响应输入电流变化，并实时回报给EC (Embedded Controller)让EC依据回传信息进行相应的系统调整与控制。

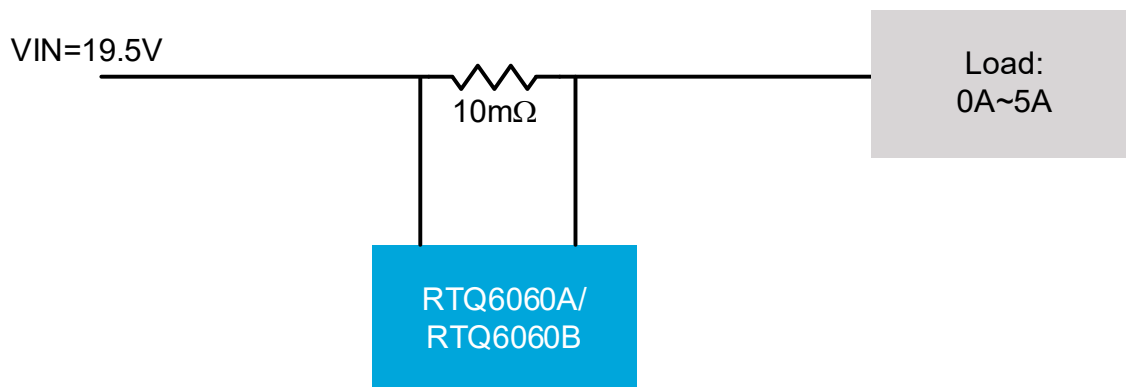


图6. [RTQ6060A](#)和[RTQ6060B](#)应用于桌面计算机

[图7](#)为[RTQ6060A](#)在Gain=200条件下的误差评估曲线 (error estimation curve)。可以看到，在常温下负载电流介于3A至5A时，量测误差仅约1%。

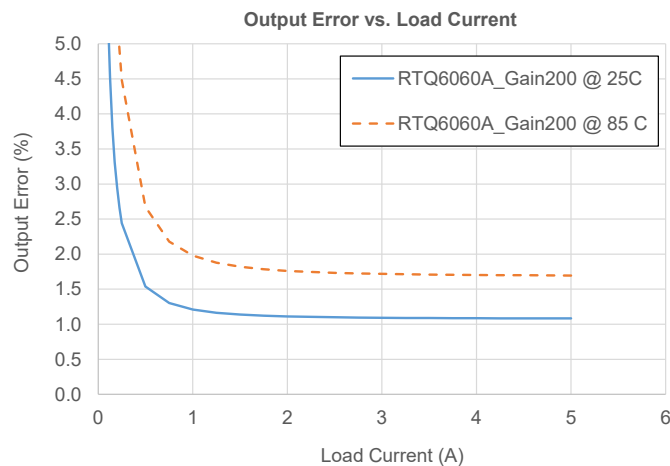


图7. [RTQ6060A](#) 误差评估曲线

3.4 服务器 (Servers)

服务器在现代数据中心中扮演着关键角色，对于稳定性、效率 and 安全性有极高的要求。电源感测放大器在服务器系统中具有多项重要功能。首先，必须能够实时监测服务器的电压、电流和功耗，协助管理者掌握每个组件的用电状况，避免因电源异常导致系统故障或数据损失。其次，透过精确的电源监控，能有效预防过载、过热等问题，提升整体系统的可靠性与安全性。

此外，必须达到优化能源使用效率。随着数据中心规模不断扩大，能源成本成为重要考虑。透过监控和分析服务器的用电情形，管理者可以调整运作策略，降低不必要的耗能，达到节能减碳的目标。电源感测放大器可支持动态电源管理，根据服务器负载自动调整供电，提升效能并延长硬件寿命。

最后，还需提供远程监控和诊断功能，让管理者即使不在现场也能实时掌握服务器状态，快速处理异常情况，减少维护时间和人力成本。综合以上原因，电源检测放大器已成为现代服务器不可或缺的关键组件，对于提升数据中心的运作效率和稳定性具有重要意义。电流感测放大器 可以协助系统完成以下功能：

电流感测放大器功能	服务器应用说明
实时电源监控	监测电压、电流和功耗，掌握服务器各组件用电状况，避免电源异常导致故障或数据损失。
提升系统可靠性与安全性	预防过载、过热等问题，确保服务器稳定运作。
优化能源使用效率	分析用电情形，调整运作策略，降低不必要耗能，达到节能减碳目标。
支持动态电源管理	根据负载自动调整供电，提升效能并延长硬件寿命。
远程监控与诊断	提供远程实时监控与异常诊断，减少维护时间与人力成本。
提升数据中心运作效率	综合以上功能，提升数据中心整体运作效率与稳定性。

立锜推出的 [RTQ6136](#) 专为服务器电源系统的监控需求而设计，能提供精确的电压与电流回报。由于服务器系统的输入电压约为 48V，设计时通常会依循 70% 降额 (Derating) 原则，因此在选择电源监控产品时，必须特别注意其最大允许电压 (AMR) 是否足够。[RTQ6136](#) 的 AMR 高达 75V，完全符合 70% 降额设计的需求，因此非常适合服务器电源监控应用，如[图8](#) 所示。

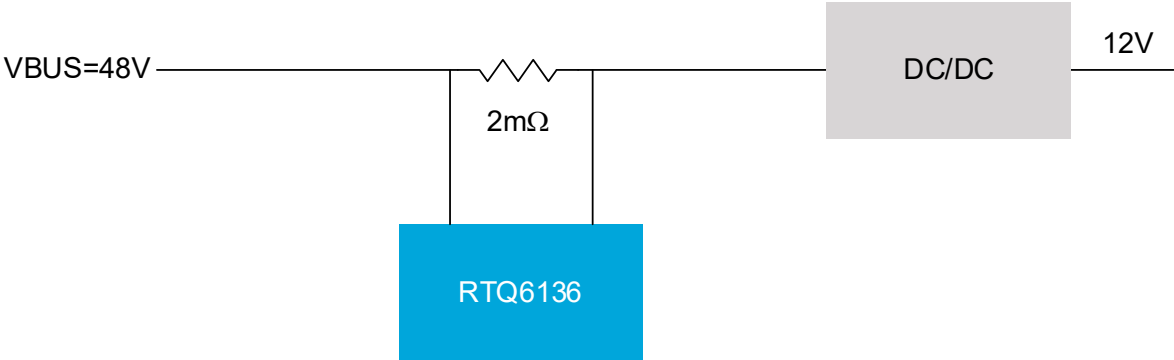


图 8. [RTQ6136](#) 应用于服务器

图 9 为 [RTQ6136](#) 的误差评估曲线 (error estimation curve)。可以看到，在常温下负载电流介于 3A 至 20A 时，量测误差仅约 1%。

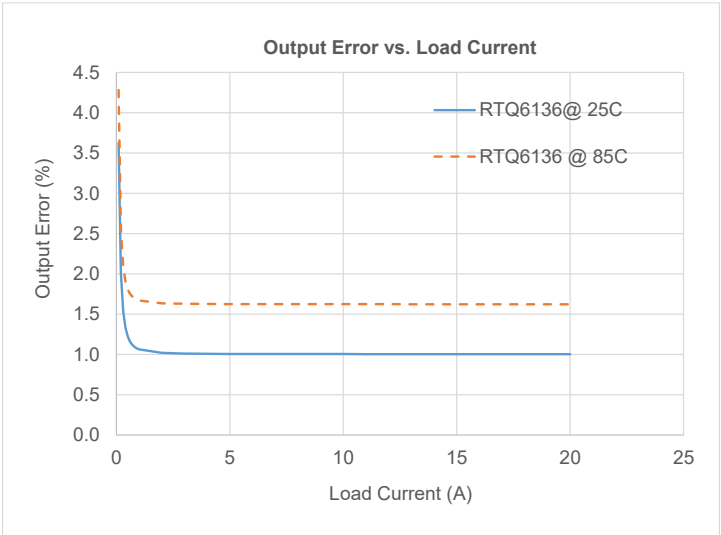


图 9. [RTQ6136](#) 误差评估曲线

4 结论

本应用笔记探讨电流感测技术在电子系统中的重要性与应用。选用合适的感测组件与设计方法，不仅能精准监控电流，还能提升系统的效率与安全性。电流感测广泛应用于电源管理、故障侦测与系统监控，是不可或缺的关键技术。随着电子设备持续朝高效能与小型化发展，电流感测将更显重要。设计人员在选择方案时，应同时考虑精度、成本、可靠性与系统需求，以达到最佳效益。

若要获得更多产品的产品信息，请[订阅我们的电子报](#)。

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.