

## Application Note

## 使用 TPS25984、TPS25985 或 TPS25990 电子保险丝实现 PSYS 监控器



Avishek Pal, Abhinay Patil, Vasav Gautam

## 摘要

在企业服务器应用中，最新的 Intel® VR14 规格引入了对精确系统输入功率监控的要求。这可跟踪系统平均输入功率，估算高功率突发的执行时间，并发出信号以在系统输入功率超过临界阈值时降低功耗。可以使用输入电源信号直接监控系统输入功率，也可以使用系统输入电流和系统输入电压作为替代方案来间接监控系统输入功率。

本应用手册演示了如何使用 TPS25984、TPS25985 或 TPS25990 电子保险丝在 VR14 多相控制器中实现 PSYS™ 和 PSYS\_CRIT#™，以进行精确的高速系统输入电流监测。本文档首先介绍 PSYS™ 和 PSYS\_CRIT#™ 的定义及其精度和带宽要求。接下来讨论 PSYS 监控器的实现方式。然后，描述了与 TPS25984、TPS25985 或 TPS25990 电子保险丝相关的 ISYS 寄存器和增益选择指南以及一个设计示例。之后，介绍了 TPS536C9T VR14 控制器中 PSYS™ 和 PSYS\_CRIT#™ 的功能验证。最后，详细说明了连接到同一输入电源的多个 PSYS 监控器的电压输出聚合。

## 内容

1 引言.....	2
2 什么是 PSYS™ 和 PSYS_CRIT#™ ? .....	2
3 PSYS 监控器的实现方式.....	4
3.1 现有设计.....	4
3.2 建议的设计.....	5
4 TPS536C9T VR14 控制器中的 ISYS 电阻器 (R <sub>ISYS</sub> ) 和增益 (ISYS_IN_GAIN) 选择.....	7
4.1 计算 R <sub>IMON</sub> 或 R <sub>ISYS</sub> 和 ISYS_IN_GAIN 值的步骤.....	8
4.2 设计示例.....	8
5 使用 TPS25984、TPS25985 或 TPS25990 电子保险丝作为 PSYS 监控器对 TPS536C9T VR14 控制器中的 PSYS 和 PSYS_CRIT# 进行功能验证.....	8
6 使用多个连接到同一 PSU 的 PSYS 监控器提取平台电流信息.....	10
6.1 设计同相加法放大器.....	11
6.2 布局指南和示例.....	12
7 总结.....	13
8 参考资料.....	13

## 商标

PSYS™, PSYS\_CRIT#™, VR\_HOT#™, and PROCHOT#™ are trademarks of Intel.

Fusion Digital Power™ is a trademark of Texas Instruments.

Intel® is a registered trademark of Intel.

PMBus® is a registered trademark of SMIF, Inc.

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 引言

典型的服务器平台包含一个或多个处理器单元 (CPU) 以及其他子系统, 并由一个或多个电源 (PSU) 供电。从更广泛的意义上讲, PSU 分为常见的冗余电源 (CRP) 和非 CRPS PSU。CRPS PSU 具有明确定义的峰值功率能力, 而非 CRPS PSU 没有超出其 100% 额定功率的行为标准。PSU 配置最严重的情况是: 单个 PSU 正常运行, 但无法处理平台所需的所有预计峰值功率包络。因此, 必须持续监控平台消耗的总功率, 并且必须有一种保护机制, 以便在超过预编程阈值时快速调节平台所需的功率。

系统输入功率监测器 PSYS 旨在为处理器提供必要的信息, 以便在指定的功率预算范围内在不同系统元件 (例如 CPU、存储器和平台其余部分) 之间动态分配功率。这有助于动态利用多余的系统功率来辅助平台涡轮, 进而充分利用平台的总可用功率。在没有精确的系统电流监控的情况下, 平台设计人员会将峰值功率限制设置得过低, 从而可能导致功率包络过于保守。这导致可用平台可用功率得不到充分利用。

对于非 CRPS 通用 PSU, PSYS\_CRIT#™ 是处理峰值功率事件的必备要求。否则, 这些峰值功率事件会关闭或损坏平台电源, 具体取决于其停留时间。通过实现 PSYS\_CRIT#™ 功能, 可以使用具有通用规格的 PSU, 而无需强制采购 CRPS PSU。

## 2 什么是 PSYS™ 和 PSYS\_CRIT#™ ?

在多相稳压器 (VR) 系统中, 系统输入功率以单个标称电压电平提供。此电压可以由单个 PSU 或多个并联的冗余 PSU 提供。图 2-1 中显示了一个简化版方框图。

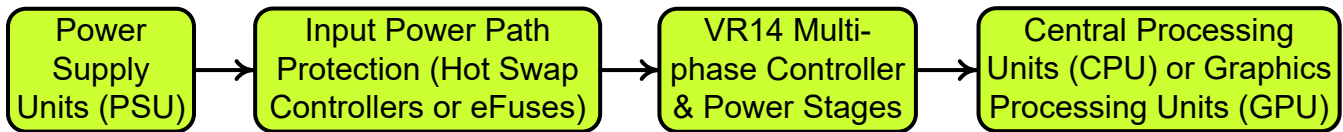


图 2-1. 简化框图：稳压器 (VR) 系统

PSU 可以是交流/直流电源或机架级电源的汇流条。VR14 控制器根据输入电流 (ISYS) 和电压 (VSY) 信号计算系统输入功率。即使在最高功率级别下, 系统输入电压 VSY 也假定为几乎恒定。在峰值 PSU 输出下, VSY 可能具有可预测的压降。系统输入功率通过 ISYS 和 VSY 的乘积计算得出。此电源监控功能被称为 PSYS™, 用于通过利用可用的剩余平均 (在某些情况下为峰值) 能量来控制 CPU 性能。

图 2-2 中显示了 PSYS 互连方框图。它展示了 PSYS 监控器的位置, 该监控器通常位于输入电源连接器或 PSU 和 VR14 PWM 控制器附近。它们位于平台总成的另一端。这有助于提高用于跟踪输入功率的模拟信号 (在本例中指 PSU 电流或 ISYS) 的抗噪性能。

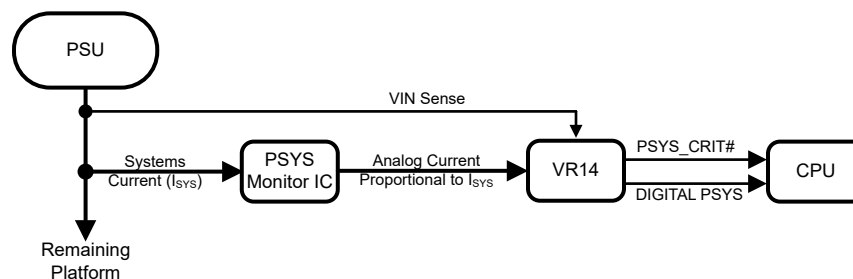


图 2-2. PSYS 互连的简化图

在 VR14 PWM 控制器中, VSY 和 ISYS 分别被跟踪, 数字化并相乘以获得 PSYS 数字输出, 如图 2-3(a) 所示。或者, VSY 和 ISYS 在模拟域中实时相乘, 并将结果数字化以获得 PSYS 数字输出, 如图 2-3(b) 所示。如果满足数字 PSYS 输出精度的预期, 那么这两种方法都是有效的。

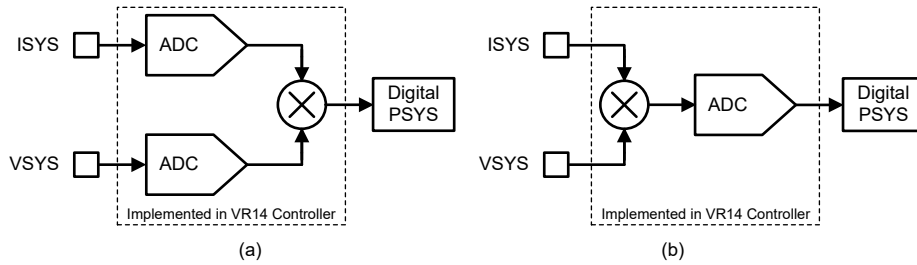


图 2-3. 在 VR14 控制器中实现数字 PSYS™

**ISYS** : 为了提高抗噪性, 需要使用与传感器上观察到的电流成比例的电流来表示 PSU 电流信息。节 3 中详细介绍了生成 ISYS 输出的方法。

**VSYS** : 它是平台输入端的电压, 靠近 PSU 的输出端。VSYS 用于将 ISYS 信息转换为以瓦特为单位的 PSYS。需要在 PSYS 监控器或 PSU 附近检测 VSYS, 以考虑整个平台的压降。如果需要实现电阻分压器以将输入电压的幅度降低到 VR 控制器中 VSYS 引脚的可接受电平, 则建议使用容差较小的电阻器 ( $\pm 0.1\%$ ) 以满足 PSYS 精度要求。

应力过大的 PSU 可以进入折返恒定功率模式。观察电源而不是电流, 不能向 VR14 控制器指示 PSU 承受的应力幅度。因此, 这里采用 ISYS 作为主要测量参数。模拟 ISYS 测量系统的另一项优势是多个 PSYS 监控器输出的潜在聚合。

为了处理峰值功率事件, 需要 VR14 PWM 硬件警报 (例如 VR\_HOT#™ 和 PSYS\_CRIT#™); 否则, 可能导致本地稳压器过热或损坏电源。VR\_HOT#™ 和 PSYS\_CRIT#™ 均为开漏逻辑低电平有效, 用于驱动处理器的强制热调节输入 (PROCHOT#™)。当 VR 控制器检测到的温度超过预编程阈值 (TMAX) 值时, VR\_HOT#™ 将置为有效。本文档未讨论详细的实现和功能。

硬件警报是尝试在接近硬件峰值功率限制的情况下运行的系统的最后一道防线。这有助于避免过度设计系统以处理严重 (例如, 在幅度上比热设计功率大得多) 峰值功率事件的要求。

数字版本的 PSYS 对于监控平均功率事件非常有用。数字 PSYS 不能很好地指示峰值功率事件。这是因为, 将 VSYS 和 ISYS 信号数字化并相乘以生成 PSYS 数字输出, 然后对峰值功率事件做出反应, 所花费的时间超出了通用 PSU 的输入电源处理能力。

VR14 控制器允许监控峰值功率事件。PSYS\_CRIT#™ 是源自 ISYS 数据的低电平有效开漏逻辑, 用于驱动处理器的强制热调节输入。VR\_HOT#™ 和 PSYS\_CRIT#™ 之间的区别如下:

- 在多 CPU 系统中, VR\_HOT#™ 是通过检测自身的温度在每个 VR14 控制器中实现的。而 PSYS\_CRIT#™ 则是通过检测多个 CPU 和其他负载消耗的平台总电流, 仅在一个连接到 CPU (假设为 CPU0) 的 VR14 控制器中实现的。
- 每个 VR\_HOT#™ 置位 (低) 仅限制相关 CPU 的功耗, 而不是所有 CPU 的功耗。而 PSYS\_CRIT#™ 的置位可降低从 PSU 获取电力的所有 CPU 的功耗。

PSYS\_CRIT#™ 警报实现的首选方法是 VR14 PWM 控制器级别, 而非 PSYS 监控器级别。VR14 控制器可通过两种方式实现 PSYS\_CRIT#™ 功能。

- 模拟 ISYS 信号被馈送到高速模拟比较器, 一旦超过电流阈值, 就会触发 PSYS\_CRIT#™ 输出置位, 如图 2-4(a) 所示。
- 数字化 ISYS 数据被馈送到高速数字比较器, 一旦超过电流阈值, 就会触发 PSYS\_CRIT#™ 输出置位, 如图 2-4(b) 所示。

数字 PSYS™ 和 PSYS\_CRIT#™ 需要保持高精度 ( $\pm 2\%$ ) 和低延迟 (10  $\mu$ s 的 PSYS\_CRIT#™ 置位延迟)。

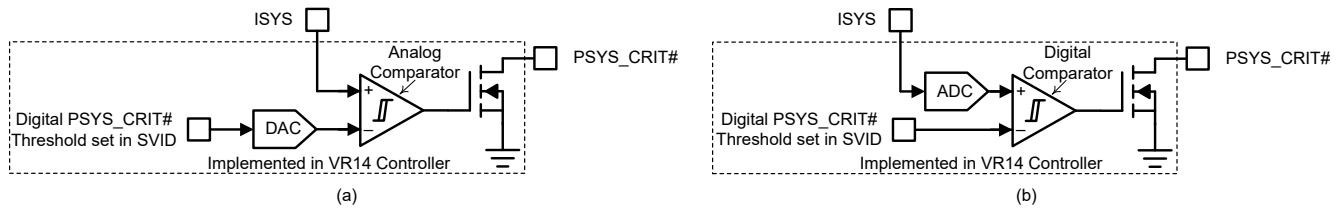


图 2-4. 在 VR14 控制器中实现 PSYS\_CRIT#™

### 3 PSYS 监控器的实现方式

PSYS 监控器用于获取模拟 VSYS 和 ISYS 数据，以在 VR14 控制器中实现数字 PSYS™ 输出和 PSYS\_CRIT#™ 功能。

#### 3.1 现有设计

最基本的实现由检测电阻、电流检测放大器和跨导放大器组成。图 3-1 展示了此实现。这些元件会显著增加设计成本，并增加了 PCB 上占用的面积。

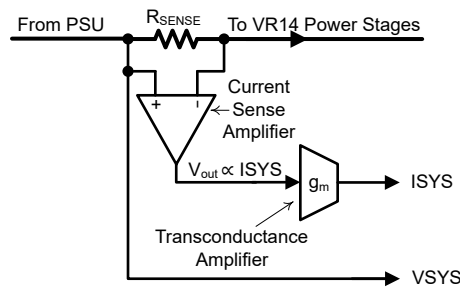


图 3-1. 通过检测电阻和跨导放大器实现的 PSYS 监视器功能

一些实现方案使用用在热插拔设计中的检测电阻来实现输入电源路径保护。此实现中需要一个额外的电流检测放大器和一个跨导放大器，如图 3-2 中所示。这两种分立式方法易受系统噪声的影响，往往具有较低的精度和较高的传播延迟。

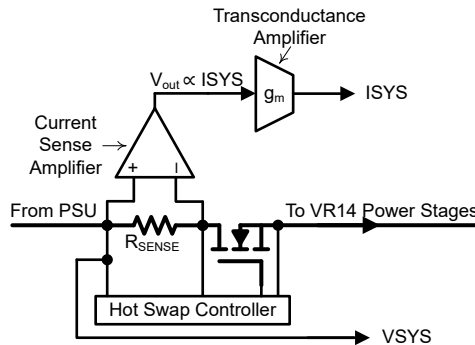


图 3-2. 使用热插拔设计中使用的检测电阻实现 PSYS 监视器功能

一些热插拔控制器（如 TPS2477x）具有模拟电流监控输出，其电压输出与负载电流成比例，如图 3-3 所示。需要使用跨导放大器将该电压输出转换为与负载电流成正比的电流源，该电流源会馈送到 VR14 控制器的 ISYS 引脚。然而，PSYS™ 实现方案的精度和大信号带宽要求无法通过这种方法实现。

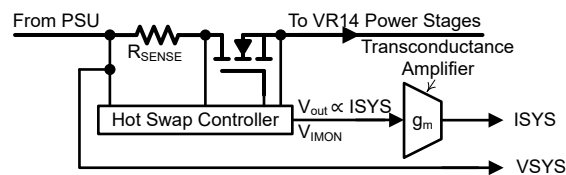


图 3-3. 使用具有 V<sub>IMON</sub> 输出的热插拔控制器和跨导放大器实现的 PSYS 监视器功能

### 3.2 建议的设计

基于 FET 的集成式热插拔设计（后来称为电子保险丝）由于提高了功率密度和成本竞争力，通常用于大电流企业服务器电源设计的输入电源路径保护。TI 在上述市场领域发布了 [TPS25984](#)、[TPS25985](#)（均无 PMBus® 接口）和 [TPS25990](#)（具有 PMBus® 接口）电子保险丝。

除了提供多个输入电源路径保护功能外，这三个电子保险丝还允许系统通过在 IMON 引脚上提供模拟电流输出 (IMON) 来准确监控输出负载电流。IMON 与通过电子保险丝内部 FET 的电流成正比。该 IMON 输出被馈送到 ISYS 引脚，以在 VR14 控制器中实现 PSYS™，如图 3-4 所示。

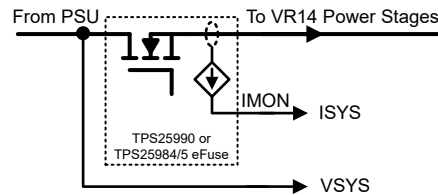


图 3-4. 使用 TPS25984、TPS25985 或 TPS25990 电子保险丝实现的 PSYS 监控器功能

电流输出的好处是，信号可以在电路板上路由，而不会由于相邻布线的压降或噪声耦合而增加明显的误差。电流输出还允许将并联配置中多个电子保险丝器件的 IMON 引脚连接在一起，从而获得总电流。如图 3-5 所示，IMON 信号被馈送到 VR14 控制器的 ISYS 引脚，并通过将其放置在用以实现 PSYS™ 的 VR14 控制器附近的电阻器 ( $R_{ISYS}$  或  $R_{IMON}$ ) 上而转换为电压。这三个电子保险丝内部的电流监测电路旨在跨负载和环境温度条件提供高带宽 (> 500kHz) 和高精度 (<±1.5%)，而不受电路板布局布线和其他系统运行条件的影响。这有助于实现 PSYS™ 实施所需的响应时间 (10 μs) 和误差规格 (±2%)。图 3-6 中图示了这些电子保险丝的模拟电流监测响应，以演示 IMON 的大信号带宽。无需添加任何外部元件即可在设计中实现 PSYS 监控器。

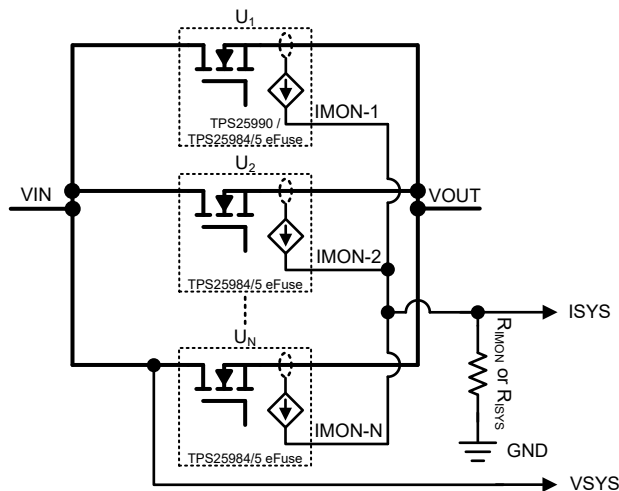


图 3-5. 并行连接：TPS25984、TPS25985 和 TPS25990 电子保险丝

#### 备注

使用 TPS25984、TPS25985 或 TPS25990 电子保险丝本身的输入电源路径保护设计通过满足在 VR14 控制器中实现 PSYS™ 功能所需的大信号带宽和精度标准，来提供 PSYS 监控器的功能。

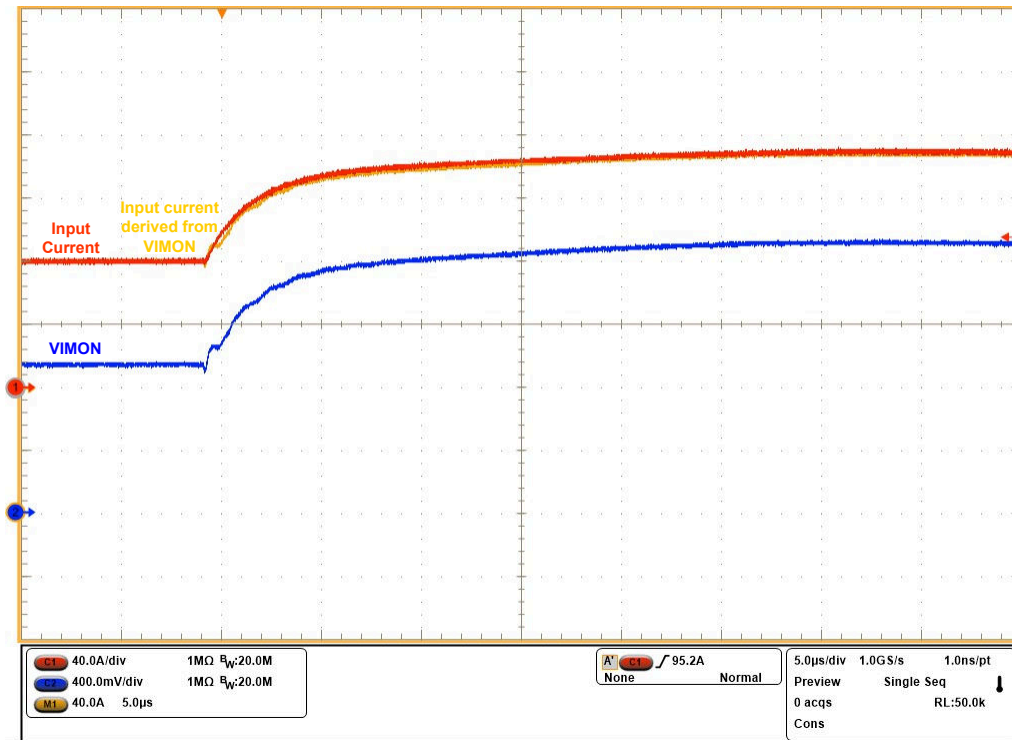


图 3-6. TPS25984、TPS25985 或 TPS25990 电子保险丝的大信号电流监控带宽

## 4 TPS536C9T VR14 控制器中的 ISYS 电阻器 ( $R_{ISYS}$ ) 和增益 ( $ISYS\_IN\_GAIN$ ) 选择

TPS25984、TPS25985 或 TPS25990 电子保险丝中的 IMON 引脚具有两个用途：

- 设置稳态期间的过流保护阈值和可扩展快速跳变阈值。
- 在稳态期间提供快速且准确的模拟输出负载电流监测信号。

因此，相同的电阻（称为  $R_{IMON}$  或  $R_{ISYS}$ ）是通过考虑电子保险丝所需的过流保护阈值以及 VR14 控制器中  $ISYS\_IN$  引脚的满量程模拟电压范围来确定的。

TPS25984、TPS25985 或 TPS25990 电子保险丝中的 IMON 引脚上提供的模拟电流监测输出 ( $I_{IMON}$ ) 如 [方程式 1](#) 所定义。

$$I_{IMON} = I_{IN} \times G_{IMON} \quad (1)$$

$G_{IMON}$  是 TPS25984、TPS25985 或 TPS25990 电子保险丝中的电流监测器增益 ( $I_{IMON}: I_{IN}$ )，其典型值为  $18.18\mu A/A$ 。 $I_{IN}$  是平台的总输入电流。检测过流条件的方法是：通过降低整个  $R_{IMON}$  电阻的  $I_{IMON}$ ，将 IMON 引脚上的电压 ( $V_{IMON}$ ) 与  $V_{IREF}$  的基准阈值进行比较。 $V_{IMON}$  通过 [方程式 2](#) 得出。

$$V_{IMON} = I_{IMON} \times R_{IMON} = I_{IN} \times G_{IMON} \times R_{IMON} \quad (2)$$

稳态期间的断路器阈值 ( $I_{OCP}$ ) 可以使用 [方程式 3](#) 计算得出。更多详细信息，请参阅 [TPS25984](#)、[TPS25985](#) 或 [TPS25990](#) 电子保险丝数据表中的 [稳态过流保护 \(断路器\)](#) 部分。

$$I_{OCP} = \frac{V_{IREF}}{G_{IMON} \times R_{IMON}} \quad (3)$$

在 TPS25990 电子保险丝中， $V_{IREF}$  通过 PMBus® 使用 E0h 寄存器进行设置。

在 TPS25984 和 TPS25985 电子保险丝中， $V_{IREF}$  是通过在 IREF 引脚上放置一个电阻器 ( $R_{IREF}$ ) 来指定的。[方程式 4](#) 用于计算  $R_{IREF}$  的阻值。

$$R_{IREF} = \frac{V_{IREF}}{I_{IREF}} \quad (4)$$

$I_{IREF} = 25\mu A$  (典型值)。

从 PSU 汲取的总平台输入电流 (由 VR14 控制器在  $ISYS\_IN$  引脚上检测到) 由 [方程式 5](#) 给出。

$$I_{SYS}(A) = I_{IN}(A) \times R_{ISYS}(\Omega) \times G_{ISYS}\left(\frac{\mu A}{A}\right) \times ISYS\_IN\_GAIN\left(\frac{A}{\mu A \times \Omega}\right) \quad (5)$$

$I_{IN}$  是从 PSU 汲取的平台电流。实际上， $G_{ISYS}$  和  $G_{IMON}$  是同一参数，具有相同的值。 $R_{ISYS}$  和  $R_{IMON}$  是具有相同值的同一参数。

$ISYS\_IN\_GAIN$ ：VR14 控制器内部的比例系数，用于将外部增益系数  $G_{ISYS}$  和  $R_{ISYS}$  纳入考量。

#### 4.1 计算 $R_{IMON}$ 或 $R_{ISYS}$ 和 ISYS\_IN\_GAIN 值的步骤

1. 查看 VR14 控制器中 ISYS\_IN 引脚的满标量程。
2. 将  $V_{IREF}$  设置为 VR14 控制器 ISYS\_IN 输入最大电压范围的一半。这为系统提供了必要的余量和动态范围，以准确地监控负载电流达到可扩展的快速跳变阈值 ( $2 \times I_{OCP}$ )。
3. 使用方程式 3 计算  $R_{IMON}$  或  $R_{ISYS}$  的值，以便为电子保险丝设置适当的过流保护或断路器阈值。
4. 最后，根据方程式 6 选择内部比例因子 ISYS\_IN\_GAIN (通过 SVID\_CONFIG 设置)。

$$ISYS\_IN\_GAIN = \frac{1}{G_{ISYS} \times R_{ISYS}} \quad (6)$$

#### 4.2 设计示例

1. 最大直流负载电流 ( $I_{OUT(max)}$ ) 被视为 200A。
2. 稳态期间的断路器阈值 ( $I_{OCP}$ ) 被认为是  $I_{OUT(max)}$  的 1.1 倍。因此， $I_{OCP}$  设置为 220A。
3. TPS536C9T 控制器的 ISYS\_IN 输入最大电压范围为 1.8V。
4. 如节 4.1 中所述， $V_{IREF}$  设置为 1.8V 的一半，即 0.9V。
5. 使用方程式 3 计算出的  $R_{IMON}$  或  $R_{ISYS}$  为  $225 \Omega$ ， $G_{IMON}$  为  $18.18 \mu A/A$ ， $V_{IREF}$  为 0.9V。 $R_{IMON}$  或  $R_{ISYS}$  最接近的值是容差为 0.1% 且额定功率为 100mW 的  $226 \Omega$  电阻。为了降低噪声，请在电子保险丝的 IMON 引脚和 GND 之间放置一个 22pF 陶瓷电容器。
6. 使用方程式 6 计算出的 ISYS\_IN\_GAIN 为 245。

### 5 使用 TPS25984、TPS25985 或 TPS25990 电子保险丝作为 PSYS 监控器对 TPS536C9T VR14 控制器中的 PSYS 和 PSYS\_CRIT# 进行功能验证

图 5-1 展示了使用 TPS25984、TPS25985 或 TPS25990 电子保险丝在 TPS536C9T VR14 控制器中实现 PSYS™ 和 PSYS\_CRIT#™ 的基本互连方框图。

- ISYS\_IN : ISYS 输入、满标量程为 1.8V，
- VSYS\_IN : VSYS 输入，建议范围为 4.5V 至 17V，
- PSYS\_CRIT# : VR14 PSYS 警报，开漏输出，建议范围为 -0.1V 至 3.6V，

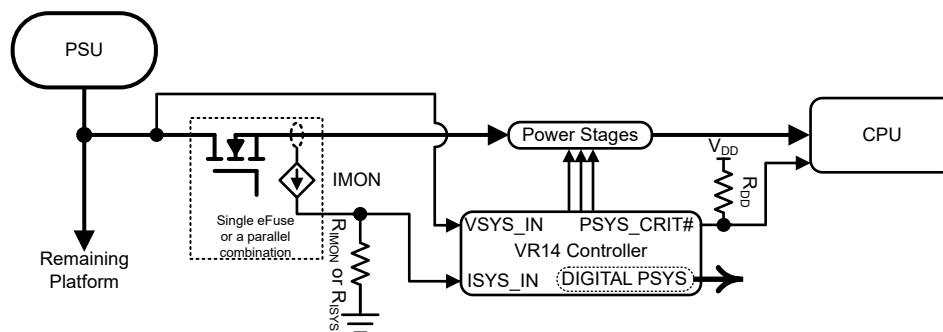


图 5-1. 在电子保险丝和 VR14 控制器之间实现数字 PSYS™ 和 PSYS\_CRIT#™ 的互连方框图

图 5-2 表示使用 TPS536C9T 控制器从 Fusion Digital Power™ 图形用户界面 (GUI) 捕获的数字 PSYS 输出的快照。获得的 ISYS 和数字 PSYS 分别具有 1.6% 和 1.7% 的精度，而目标规格是 2%。



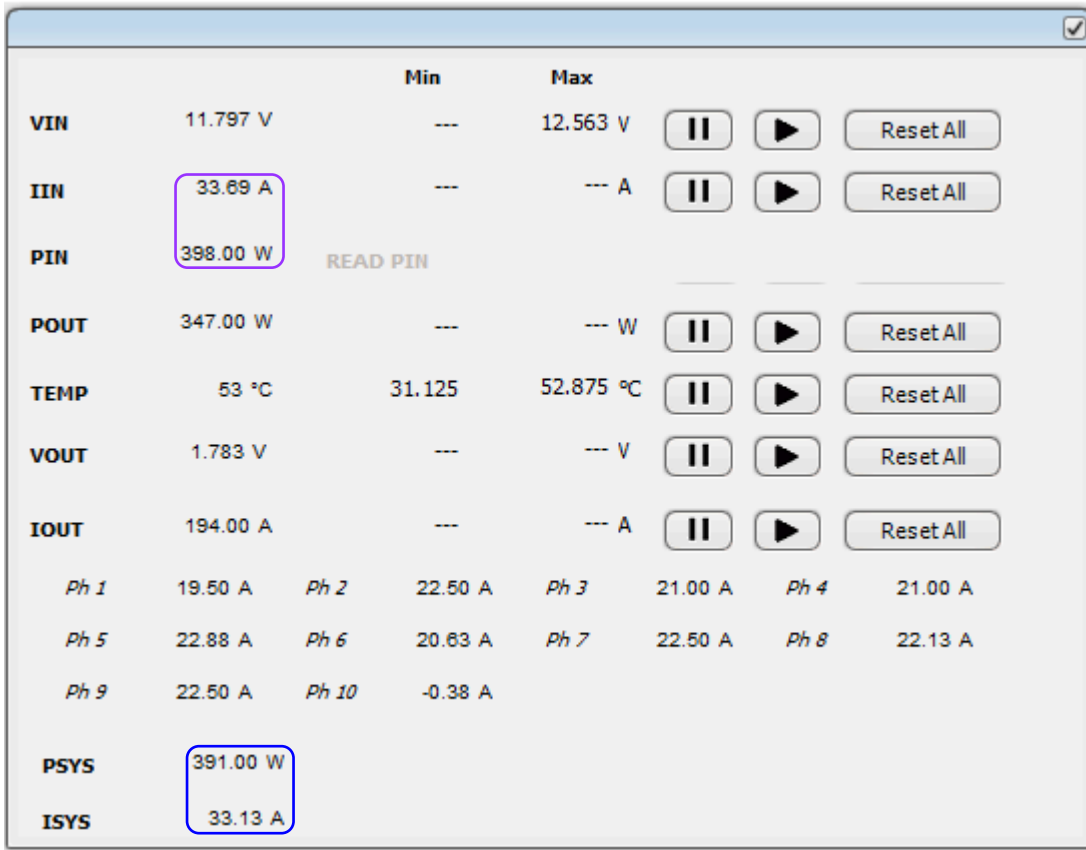


图 5-2. 数字 PSYS

PSYS\_CRIT#™ 阈值在 SVID 寄存器中设置为 PSU 最大瞬态输入电流能力的一小部分。阈值寄存器包含与遥测输入的满量程值相对应的线性部分。PSYS\_CRIT#™ 置位，而输入电流（换言之，TPS536C9T 控制器中 ISYS 引脚的电压）超过 SVID 中预编程的阈值。方程式 7 中定义了正常分辨率遥测中的 PSYS\_CRIT#™ 阈值。

$$\begin{aligned}
 \text{Digital\_PSYS\_CRIT\#\_Threshold (8 bit, decimal)} &= \text{Truncate} \left[ \frac{2^8 \times \text{Analog\_PSYS\_CRIT\#\_Threshold(A)}}{\text{Full\_Scale(A)}} \right]; \\
 \text{Quantized\_Analog\_PSYS\_CRIT\#\_Threshold(A)} &= \left[ \frac{\text{Full\_Scale(A)} \times \text{Digital\_PSYS\_CRIT\#\_Threshold (8 bit, decimal)}}{2^8} \right]
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

fontxml-text-placeholder text="Type the link text"中描述了将 PSYS\_CRIT#™ 置位的延时时间。TPS25984、TPS25985 或 TPS25990 电子保险丝在监测 PSU 电流（或平台电流）时产生的最大延迟小于 500ns，如图 3-6 所示。因此，PSU 电流超出预编程阈值与 TPS536C9T 控制器中 PSYS\_CRIT# 置位之间的总延迟为 5.5 μs，而 PSYS 规格则需要 10 μs。

假定 Analog\_PSYS\_CRIT#\_Threshold 为 73A，满量程为 252A，并使用方程式 7，Digital\_PSYS\_CRIT#\_Threshold（8 位，十进制）的计算结果为 74，采用十六进制格式为 4Ah。当功率级的输入电流超过 73A 时，将此十六进制数据写入指定的 SVID 电阻器以将 PSYS\_CRIT# 置位。图 5-4 展示了 PSYS\_CRIT# 置位或取消置位，这是在使用 TPS25990 作为 PSYS 监控器的 TPS536C9T VR14 控制器中实现的。

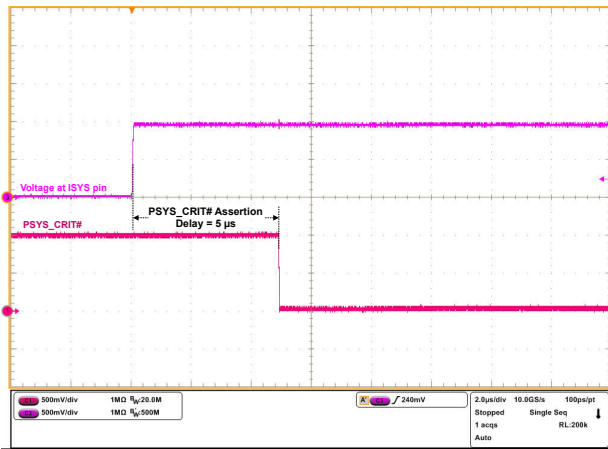


图 5-3. TPS536C9T 控制器中的 PSYS\_CRIT# 置位延迟

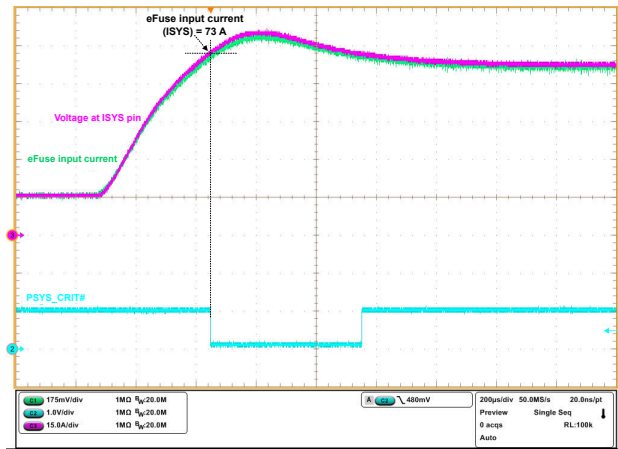


图 5-4. 在使用 TPS25990 作为 PSYS 监控器的 TPS536C9T 控制器中置位 PSYS\_CRIT#

## 6 使用多个连接到同一 PSU 的 PSYS 监控器提取平台电流信息

随着处理器功耗的逐渐增加，服务器配电板 (PDB) 需要容纳多个 VR 控制器和功率级，从而为多个 CPU 供电。每个 VR 模块都连接到各个 CPU。在此架构中，只有一个连接到 CPU (假设是 CPU-1) 的 VR14 控制器是 PSYS 数据和相关连接的接收者，以实现 PSYS 功能，如图 6-1 所示。连接到除 CPU-1 之外的 CPU 的所有其他 VR14 控制器不需要实现 PSYS 功能。每块电路板只有一个 VR14 需要考虑 PSYS。这有助于从单个 CPU VR 控制器级别的功率监控过渡到总平台功率或电流监控。需要将所有 PSYS 监控器的输出相加以获得总平台输入电流。

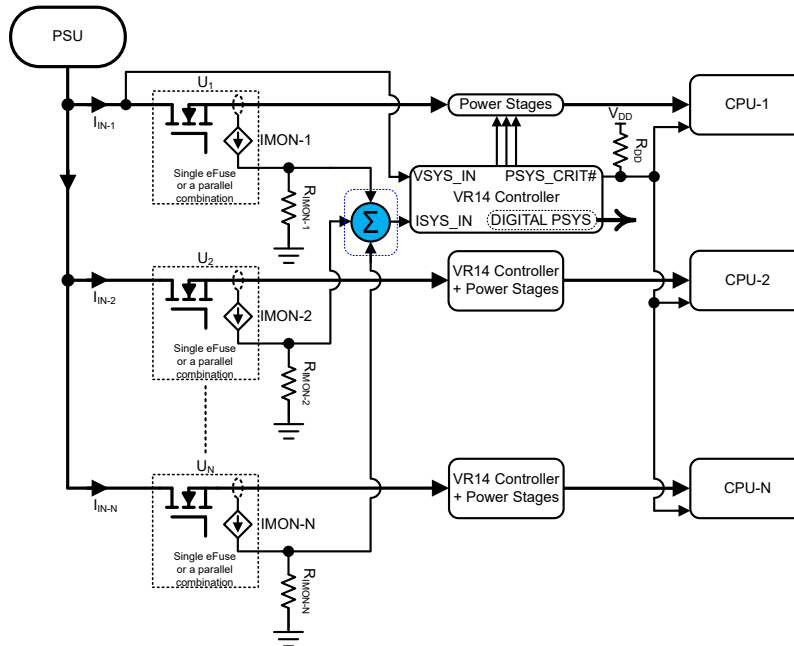


图 6-1. 通过整合连接到同一 PSU 的多个电子保险丝模块来单独保护各个 VR 控制器电源路径

需要多个电子保险丝模块 ( 单个 TPS25984、TPS25985 或 TPS25990 电子保险丝, 或 TPS25990 和 TPS25984/5 电子保险丝的并联组合, 以便实现电流更高的设计 ) 在多个 CPU 板中单独保护不同的电源路径 ( 馈送到每个 VR14 模块 )。但是, 所有这些负载都由同一个 PSU 供电。因此, 在实现 PSYS 功能时必须监测 PSU 电流。这些电子保险丝模块用于连接到平台输入电源的多个 PSYS 监控器。在该架构中, 需要聚合所有这些 PSYS 监控器的电流监测输出, 以确定全局平台功率。然而, 如节 4 中所述, TPS25984、TPS25985 或 TPS25990 电子保险丝的 IMON 引脚有两个用途: 1) 设置过流和可扩展快速跳变阈值; 2) 监测流经它的电流。因此, 多个电子保险丝模块的 IMON 输出不能直接连接在一起, 以获得平台总电流。否则, 可能会干扰各个电子保险丝模块的过流和短路阈值。我们的解决方案可使用同相加法放大器对各个电子保险丝模块的所有 IMON 电压输出 ( $V_{IMON} = I_{IN} \times G_{IMON} \times R_{IMON}$ ) 求和。

## 6.1 设计同相加法放大器

此处选择高带宽 ( $\geq 50\text{MHz}$ ) 和低偏移 ( $\leq 100\ \mu\text{V}$ ) 精密运算放大器, 例如 TLV365, 以实现同相加法放大器, 如图 6-2 所示。

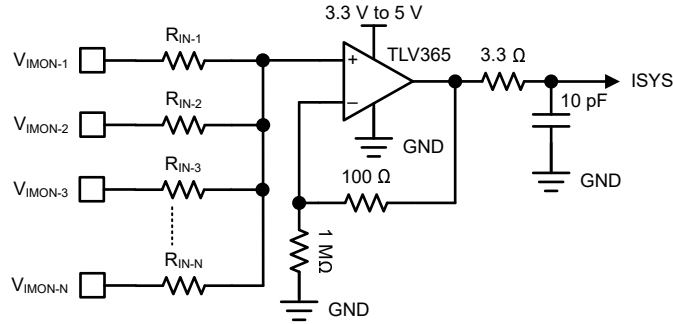


图 6-2. 用于聚合来自各个电子保险丝模块的 IMON 电压输出的同相加法放大器

$V_{IMON-1}$ 、 $V_{IMON-2}$ 、 $V_{IMON-3}$ 、……和  $V_{IMON}$  是来自各个电子保险丝模块的 IMON 电压输出, 如方程式 8 中所定义。

$$\begin{aligned} V_{IMON-1}(V) &= I_{IN-1}(A) \times R_{IMON-1}(\Omega) \times G_{IMON}(\mu A/A) \\ V_{IMON-2}(V) &= I_{IN-2}(A) \times R_{IMON-2}(\Omega) \times G_{IMON}(\mu A/A) \\ V_{IMON-3}(V) &= I_{IN-3}(A) \times R_{IMON-3}(\Omega) \times G_{IMON}(\mu A/A) \\ V_{IMON-N}(V) &= I_{IN-N}(A) \times R_{IMON-N}(\Omega) \times G_{IMON}(\mu A/A) \end{aligned} \quad (8)$$

$N$  是使用加法放大器相加的电流监测输出的数量。方程式 9 中描述了图 6-2 中的加法放大器的电压输出。

$$V_{ISYS}(V) = \sum_{n=1}^N [V_{IMON-n}(V) \times m_n] \quad (9)$$

$m_1$ 、 $m_2$ 、 $m_3$ 、……和  $m_N$  是不同的数学函数 ( 分别为  $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$ 、……和  $f_N$  ), 属于  $R_{IN-1}$ 、 $R_{IN-2}$ 、 $R_{IN-3}$ 、……和  $R_{IN-N}$  ( 在图 6-2 中 ), 如方程式 10 所示。

$$m_{1,2,3:\dots,N} = f_{1,2,3:\dots,N}(R_{IN-1}, R_{IN-2} : R_{IN-3} : \dots, R_{IN-N}) \quad (10)$$

需要选择  $m_1$ 、 $m_2$ 、 $m_3$ 、……和  $m_N$ , 以满足方程式 11 的要求。

$$m_1 \times R_{IMON-1} = m_2 \times R_{IMON-2} = m_3 \times R_{IMON-3} = \dots = m_N \times R_{IMON-N} \quad (11)$$

方程式 11 对方程式 9 至方程式 12 进行了简化。

$$V_{ISYS}(V) = m_1 \times R_{IMON-1}(\Omega) \times G_{IMON}(\mu A/A) \sum_{n=1}^N I_{IN-n}(A) \quad (12)$$

在该架构中, 使用方程式 13 获得  $ISYS\_IN\_GAIN$ , 需要在 VR14 控制器固件中对其进行编程, 以便通过  $ISYS$  引脚电压获取平台总电流。

$$ISYS\_IN\_GAIN = \frac{1}{m_1 \times R_{IMON-1} - 1 \times G_{IMON}} \quad (13)$$

计算  $m_1$ 、 $m_2$ 、 $m_3$ 、……和  $m_N$  的过程在节 6.2 中进行了讨论。

## 6.2 布局指南和示例

- 查看 VR14 控制器中 ISYS\_IN 引脚的满标量程。
- 将所有电子保险丝模块的  $V_{IREF}$  ( $U_1$ 、 $U_2$ 、 $U_3$ 、……和  $U_N$ ) (单个 TPS25984、TPS25985 或 TPS25990 电子保险丝, 或 TPS25990 和 TPS25984/5 电子保险丝并联组合, 以便实现电流更高的设计) 设置为 VR14 控制器 ISYS\_IN 输入电压最大值的一半。这为系统提供了必要的余量和动态范围, 以准确地监控负载电流达到可扩展的快速跳变阈值 ( $2 \times I_{OCP}$ )。

### 备注

$V_{IREF}$  的值对于  $U_1$ 、 $U_2$ 、 $U_3$ 、……和  $U_N$  必须相同。

- 为所有电子保险丝模块选择稳态期间所需的断路器阈值 ( $I_{OCP-1}$ 、 $I_{OCP-2}$ 、 $I_{OCP-3}$ 、……和  $I_{OCP-N}$ )。TI 建议将稳态期间的断路器阈值选为最大稳态电流或热设计电流 (TDC) 的 1.1 至 1.2 倍。
- 为所有电子保险丝模块计算  $R_{IMON}$  电阻 ( $R_{IMON-1}$ 、 $R_{IMON-2}$ 、 $R_{IMON-3}$ 、……和  $R_{IMON-N}$ ) (使用方程式 3), 以便将所需的过流保护或断路器阈值设置为上述步骤中选择的值。
- 我们假设电子保险丝模块 1 ( $U_1$ ) 有一个恒定的正数  $k_1$ 。相应的系数  $k_2$ 、 $k_3$ 、……和  $k_N$ , 分别对应电子保险丝模块 2、3、……和  $N$  ( $U_2$ 、 $U_3$ 、……和  $U_N$ ) 如方程式 14 所定义。

$$k_2 = k_1 \frac{R_{IMON-1}}{R_{IMON-2}} : k_3 = k_1 \frac{R_{IMON-1}}{R_{IMON-3}}, \dots \text{ 和 } k_N = k_1 \frac{R_{IMON-1}}{R_{IMON-N}} \quad (14)$$

- 假设图 6-2 中  $R_{IN-1}$  的值为  $50k\Omega$ 。 $R_{IN-2}$ 、 $R_{IN-3}$ 、……和  $R_{IN-N}$  (在图 6-2 中) 的值需要使用方程式 15 进行计算。

$$R_{IN-2} = R_{IN-1} \frac{R_{IMON-2}}{R_{IMON-1}}, R_{IN-3} = R_{IN-1} \frac{R_{IMON-3}}{R_{IMON-1}}, \dots \text{ 和 } R_{IN-N} = R_{IN-1} \frac{R_{IMON-N}}{R_{IMON-1}} \quad (15)$$

### 备注

- 选择  $R_{IN-1}$  的值, 使  $R_{IN-2}$ 、 $R_{IN-3}$ 、……和  $R_{IN-N}$  (包括  $R_{IN-1}$ ) 的值在  $20k\Omega$  至  $500k\Omega$  范围内, 以保持运算放大器的稳定性和足够的转换率。
- 所选的  $R_{IN-1}$ 、 $R_{IN-2}$ 、 $R_{IN-3}$ 、……、 $R_{IN-N}$ 、 $R_{IMON-1}$ 、 $R_{IMON-2}$ 、 $R_{IMON-3}$ 、……和  $R_{IMON-N}$  值必须尽可能接近计算得出的值, 才能获得更高的精确度。这些电阻的容差必须小于 0.1%, 额定功率必须大于 100mW。为了实现抗噪性, 在每个电子保险丝模块中的 IMON 引脚和 GND 之间放置一个 22pF 陶瓷电容器。

- $m_1$ 、 $m_2$ 、 $m_3$ 、……、 $m_N$  (在方程式 11 中) 的值可使用方程式 16 获得。

$$m_1 = k_1 / \sum_{n=1}^N k_n, m_2 = k_2 / \sum_{n=1}^N k_n, m_3 = k_3 / \sum_{n=1}^N k_n, \dots \text{ 和 } m_N = k_N / \sum_{n=1}^N k_n \quad (16)$$

- 最后, 根据方程式 13 选择内部比例因子 ISYS\_IN\_GAIN (通过 SVID\_CONFIG 设置)。

图 6-3 中展示了一个同相加法放大器设计示例。将来自六 (6) 个电子保险丝模块或 PSYS 监视器的 IMON 输出相加, 以检索从 PSU 汲取的总系统电流。

eFuse Module ( $U_n$ )	$V_{IREF}$ (V)	Step-3		Step-4	Step-5	Step-6	Step-7
		$I_{OUT(max)-n}$ (A)	$I_{OCP-n}$ (A)	$R_{IMON-n}$ ( $\Omega$ )	$k_n$	$R_{IN-n}$ (k $\Omega$ )	$m_n$
$U_1$	0.9	200	220	225	1.00	50.0	0.17
$U_2$	0.9	140	161	307	0.73	68.3	0.12
$U_3$	0.9	50	57	868	0.26	193.0	0.04
$U_4$	0.9	190	224	221	1.02	49.1	0.17
$U_5$	0.9	250	283	175	1.28	38.9	0.21
$U_6$	0.9	320	381	130	1.73	28.9	0.29
<b><math>ISYS\_IN\_GAIN</math> (A/V)</b>				<b>1472.8</b>			

↑  
Step-8

图 6-3. 同相加法放大器设计示例

## 7 总结

本应用手册概述了在较高电流设计中使用单个 TPS25984、TPS25985 或 TPS25990 电子保险丝或 TPS25990 与 TPS25984/5 电子保险丝并联组合来实现 PSYS 监控器，从而在 VR14 控制器中整合 PSYS 和 PSYS\_CRIT# 功能来为 CPU 或 GPU 供电。TPS25984、TPS25985 或 TPS25990 电子保险丝既可以提供智能输入电源路径保护功能，又可以实现准确的高带宽输入电流监控。这使得 TPS25984、TPS25985 或 TPS25990 电子保险丝非常适合 PSYS 监控器，符合 Intel® VR14 规范中规定的要求。系统设计人员无需添加任何额外的有源元件即可实现 PSYS 监控器。

## 8 参考资料

- 德州仪器 (TI), [TPS25984 : 具有准确、快速电流监测器的 4.5V 至 16V、0.8m \$\Omega\$ 、70A 可堆叠电子保险丝](#) 数据表。
- 德州仪器 (TI), [TPS25985 : 具有准确、快速电流监测器的 4.5V 至 16V、0.59m \$\Omega\$ 、80A 可堆叠紧凑型电子保险丝](#) 数据表。
- 德州仪器 (TI), [TPS25990 : 具有数字遥测控制器的 2.9V 至 16V、0.79m \$\Omega\$ 、60A 电子保险丝](#) 数据表。
- 德州仪器 (TI), [TLV365 : 具有轨到轨输入和输出的 50MHz 单电源运算放大器](#) 数据表。

## 重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2023，德州仪器 (TI) 公司