



深圳市雅创芯瀚电子科技有限公司
SHENZHEN ASTRONG-TECH CO., LTD

AST4700I 数据手册

双路 50A，单路 100A 降压型 DC/DC 稳压器

服务电话：13691641629 13538015750

产品特点

- 具有数字接口的双路 50A 或单路 100A 数可调输出以用于控制、补偿和监视
- 宽输入电压范围：4.5V 至 16V
- 输出电压范围：0.6V 至 1.8V
- 满载效率约 90% (12 V_{IN} 至 1V_{OUT}, 100 A 时)
- 在整个温度范围内具有 ±0.5% 的最大 DC 输出误差
- 电流回读精度：±3% (25°C 至 125°C)
- 集成输入电流检测放大器
- 400kHz PMBus 兼容 I²C 串行接口
- 支持高达 125Hz 的遥测轮询速率
- 恒定频率电流模式控制
- 多个模块可以并联且均流
- 18.4mm × 22mm × 8.26mm BGA 封装

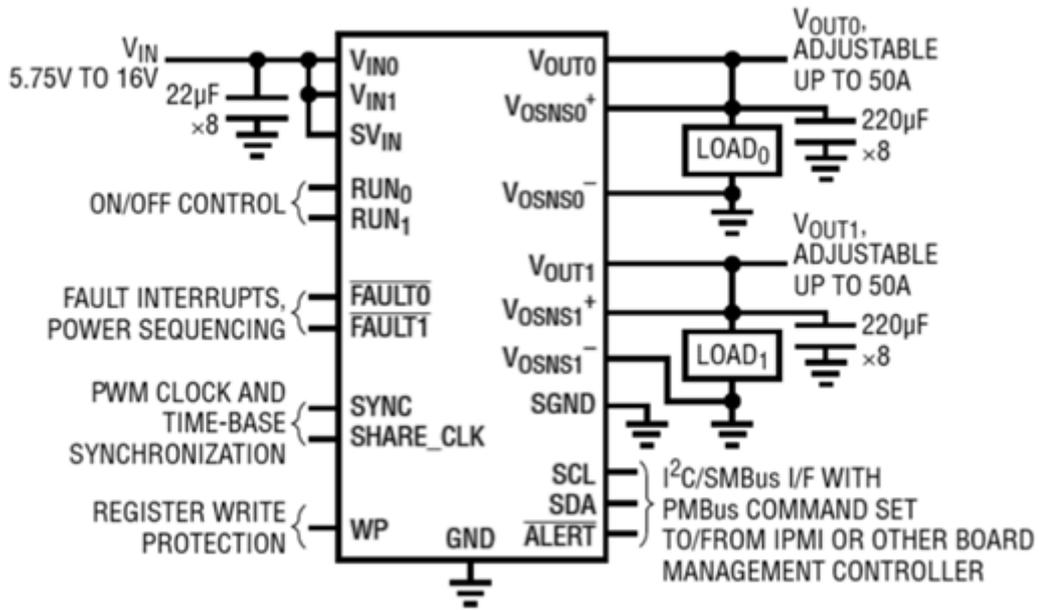
产品描述

AST4700I 是一款双路 50A 或单路 100A 降压型功率模块 DC/DC 稳压器，支持通过 PMBus 远程配置

和遥测监控电源管理参数；PMBus 是一种基于开放式标准 I²C 的数字接口协议。AST4700I 包括快速模拟控制环路、精密混合信号电路、EEPROM、功率 MOSFET、电感和配套元件。AST4700I 的两线串行接口支持对输出进行裕量调节、调谐，以及以可编程摆率和适应时序要求的延迟时间斜坡上升和下降。输入输出电流和电压、输出功率、温度、正常运行时间和峰值均可读取。不需要自定义配置 EEPROM 内容。启动时，输出电压、开关频率和通道相位角分配可通过引脚绑定电阻设置。

AST4700I 支持可选的断续工作模式和输出电压跟踪，可用于控制电源轨时序。其高开关频率和电流模式控制可在不牺牲稳定性的情况下实现对电压和负载变化的超快速瞬态响应。故障保护特性包括过压、过流和过温保护。AST4700I 提供 18.4mm × 22mm × 8.26mm BGA 封装，并采用 SnPb 或符合 RoHS 标准的引脚表面处理。

典型应用电路

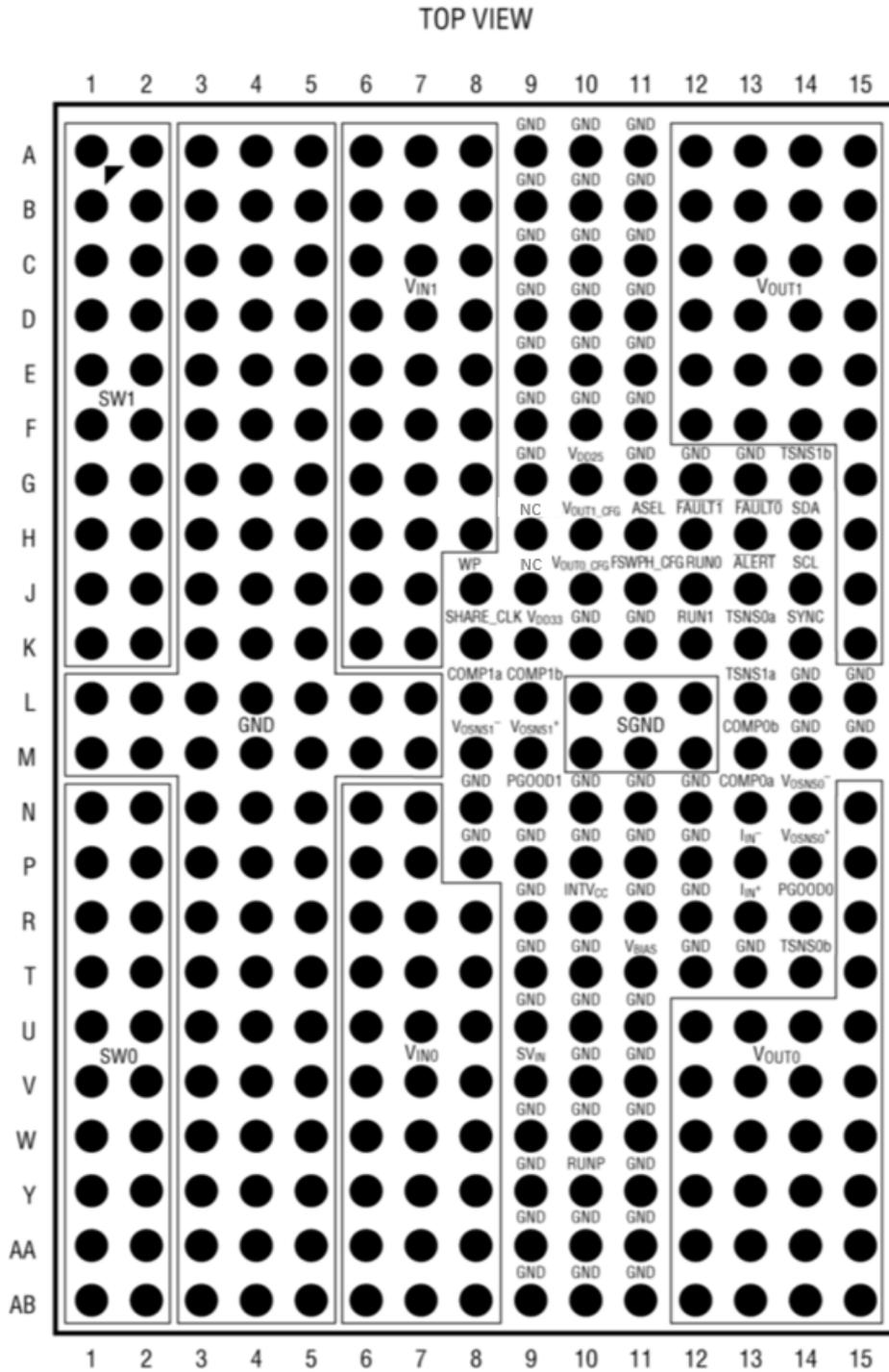


双路 50A 稳压器，通过数字接口进行控制和监测

绝对最大额定值 【注释 1】

V_{INn}	-0.3V 至 18V	V_{OSNS0}^+ 、 V_{OSNS1}^+	-0.3V 至 6V
V_{OUTn}	-0.3V 至 3.6V	V_{OSNS0}^- 、 V_{OSNS1}^-	-0.3V 至 0.3V
$INTV_{CC}$ 、 V_{BIAS}	-0.3V 至 6V	RUNP	-0.3V 至 SV_{IN}
RUNn 、 SDA 、 SCL	-0.3V 至 5.5V	内部工作温度范围	-40°C 至 125°C
PGOOD1	-0.3V 至 3.6V	存储温度范围	-55°C 至 125°C
COMPna 、 COMPnb	-0.3V 至 2.7V	回流焊峰值	220°C

PIN 脚配置 (参见引脚功能)



BGA 封装
 330-PIN (18.4mm × 22mm × 8.26mm)
 AST4700IBGA 封装顶视

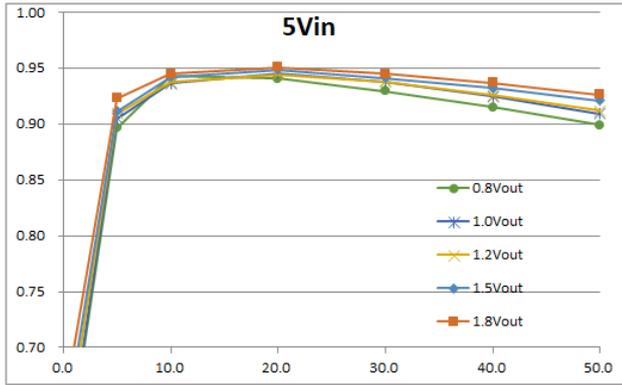
电参数 除非另有说明, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{IN} = 12\text{V}$, $\text{RUN}_n = 3.3\text{V}$, $\text{FREQUENCY_SWITCH} = 350\text{kHz}$ 且指令 V_{OUTn} 为 1.000V 。使用出厂默认 EEPROM 设置并按照测试电路 1 进行配置, 除非另有说明。

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
V_{IN}	输入直流电压	测试电路 1	5.75		16	V
		测试电路 2; $V_{IN_OFF} < V_{IN_ON} = 4\text{V}$	4.5		5.75	V
V_{OUTn}	输出电压调节范围	V_{OUT0} 在 V_{OSNS0^+}/V_{OSNS0^-} 引脚对上以差分方式进行检测; V_{OUT1} 在 V_{OSNS1^+}/V_{OSNS1^-} 引脚对上以差分方式进行检测; 由串行总线或启动时 V_{OUTn_CFG} 上存在的电阻控制	0.5		1.8	V
			0.5		1.8	V
$V_{OUTn(DC)}$	输出电压, 随电压和负载的总变化	启用数字伺服	0.995	1.000	1.005	V
		停用数字伺服 指令 V_{OUTn} 为 1.000V , V_{OUTn} 低范围	0.985	1.000	1.015	V
V_{UVLO}	欠压闭锁阈值, 当 $V_{IN} < 4.3\text{V}$ 时	V_{INTVCC} 下降	3.55			V
		V_{INTVCC} 上升	3.90			V
输入规格						
$I_{INRUSH(VIN)}$	启动时的输入浪涌电流	测试电路 1, $V_{OUTn} = 1\text{V}$, $V_{IN} = 12\text{V}$; 除电容外无负载; $\text{TON_RISE}_n = 3\text{ms}$	100			mA
$I_{Q(SVIN)}$	输入电源偏置电流	强制连续模式 $\text{RUN}_n = 3.3\text{V}$ 关断, $\text{RUN}_0 = \text{RUN}_1 = 0\text{V}$	50			mA
			25			mA
$I_{S(VIN,PSM)}$	跳脉冲工作模式下的输入电源电流	跳脉冲模式, $I_{OUTn} = 100\text{mA}$	20			mA
$I_{S(VIN,FCM)}$	强制连续工作模式下的输入电源电流	强制连续模式 $I_{OUTn} = 100\text{mA}$ $I_{OUTn} = 50\text{A}$	110			mA
			5.8			A
$I_{S(VIN,SHUTDOWN)}$	关断时的输入电源电流	关断, $\text{RUN}_n = 0\text{V}$	500			μA
输出规格						
I_{OUTn}	输出连续电流范围		0		50	A
$\frac{\Delta V_{OUTn(LINE)}}{V_{OUTn}}$	电压调整精度	启用数字伺服	0.03			%/V
		停用数字伺服 SV_{IN} 和 V_{INn} 短接在一起且 INTV_{CC} 开路; $I_{OUTn} = 0\text{A}$, $5.0\text{V} \leq V_{IN} \leq 16\text{V}$, V_{OUT} 低范围 $\text{FREQUENCY_SWITCH} = 350\text{kHz}$	0.5			1.0
$\frac{\Delta V_{OUTn(Load)}}{V_{OUTn}}$	负载调整精度	启用数字伺服	0.03			%
		停用数字伺服 $0\text{A} \leq I_{OUTn} \leq 50\text{A}$, V_{OUT} 低范围	0.2			0.75
$V_{OUTn(AC)}$	输出电压纹波		20			mV_{P-P}
f_s (每通道)	V_{OUTn} 纹波频率	FREQUENCY_SWITCH 设置为 350kHz	320	350	370	kHz
$\Delta V_{OUTn(START)}$	开启过冲	$\text{TON_RISE}_n = 3\text{ms}$	10			mV
t_{START}	开启启动时间	V_{IN} 从 0V 切换到 12V 至 PGOOD_n 上升沿的时间。 $\text{TON_DELAY}_n = 0\text{ms}$, $\text{TON_RISE}_n = 3\text{ms}$	30			ms
$t_{DELAY(0ms)}$	开启延迟时间	RUN_n 的第一个上升沿至 PGOOD_n 上升沿的时间。 $\text{TON_DELAY}_n = 0\text{ms}$, $\text{TON_RISE}_n = 3\text{ms}$, V_{IN} 已建立至少 70ms	2.95	3.3	3.75	ms
$\Delta V_{OUTn(LS)}$	动态负载阶跃的峰值输出电压偏差	负载: 0A 至 12.5A 和 12.5A 至 0A ($10\text{A}/\mu\text{s}$ 时), $V_{OUTn} = 1\text{V}$, $V_{IN} = 12\text{V}$	100			mV

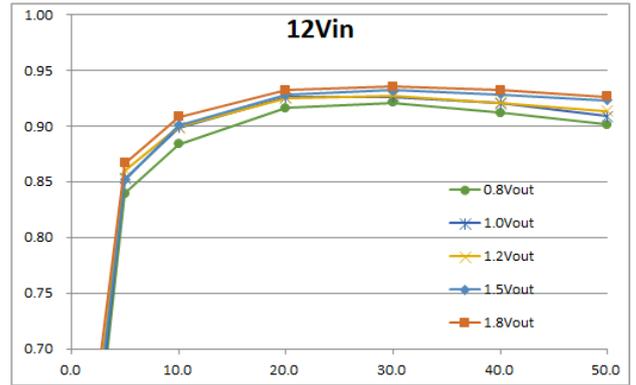
符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
t_{SETTLE}	动态负载阶跃的建立时间	负载: 0A 至 12.5A 和 12.5A 至 0A (10A/ μ s 时), $V_{OUTn} = 1V, V_{IN} = 12V$	50			μ s
$I_{OUTn(OCL_PK)}$	输出电流限值, 峰值高范围	逐周期电感峰值限流开始, 使用 $-I_{OUT} = 50A$	60			A
$I_{OUTn(OCL_AVG)}$	输出电流限制, 时间平均	时间平均输出电感限流开始 使用 $-I_{OUT} = 50A$	52			A
控制部分						
V_{FBCM0}	通道 0 反馈输入共模范围	V_{OSNS0^-} 有效输入范围 (参考 SGND)	-0.1		0.3	V
		V_{OSNS0^+} 有效输入范围 (参考 SGND)			3.6	V
V_{FBCM1}	通道 1 反馈输入共模范围	V_{OSNS1^-} 有效输入范围 (参考 GND)	-0.3		0.3	V
		V_{OSNS1^+} 有效输入范围 (参考 SGND)			3.6	V
R_{VSNS0^+}	V_{OSNS0^+} 对 SGND 的阻抗	$0.05V \leq V_{OSNS0^+} - V_{SGND} \leq 1.8V$	50			k Ω
R_{VSNS1^+}	V_{OSNS1^+} 对 SGND 的阻抗	$0.05V \leq V_{OSNS1^+} - V_{SGND} \leq 1.8V$	50			k Ω
$t_{ON(MIN)}$	最小导通时间		60			Ns
INTVCC 稳压器						
V_{INTVCC}	内部 V_{CC} 电压无负载	$6V \leq V_{IN} \leq 16V$	5.25	5.5	5.75	V
V_{LDO_INT}	INTVCC 负载调整率	$I_{CC} = 0mA$ 至 $20mA, 6V \leq V_{IN} \leq 16V$		0.5	± 2	%
V_{BIAS}	内部偏置调节	$7V \leq V_{IN} \leq 16V$	5			V
VDD33 稳压器						
V_{VDD33}	内部 V_{DD33} 电压	$4.5V < V_{INTVCC}$	3.2	3.3	3.4	V
I_{LIM}	V_{DD33} 电流限值	$V_{DD33} = GND, V_{IN} = INTVCC = 4.5V$	100			mA
V_{VDD33_OV}	V_{DD33} 过压阈值		3.5			V
V_{VDD33_UV}	V_{DD33} 欠压阈值		3.1			V
VDD25 稳压器						
V_{VDD25}	内部 V_{DD25} 电压		2.5			V
I_{LIM}	V_{DD25} 电流限值	$V_{DD25} = GND, V_{IN} = INTVCC = 4.5V$	80			mA

注释 1: 注意, 超出上述绝对最大额定值可能会导致器件永久性损坏。在任何绝对最大额定值条件下长期工作会影响器件的可靠性和使用寿命。

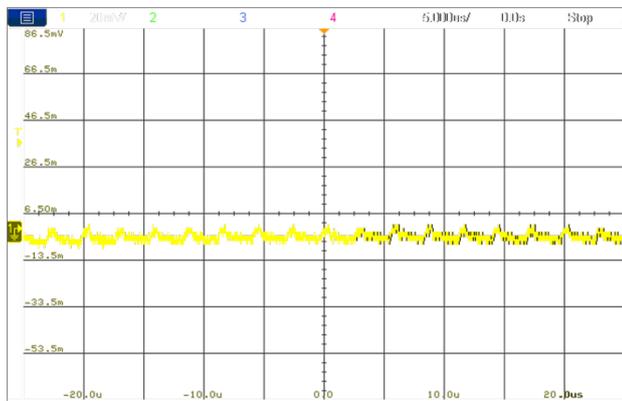
典型性能特点



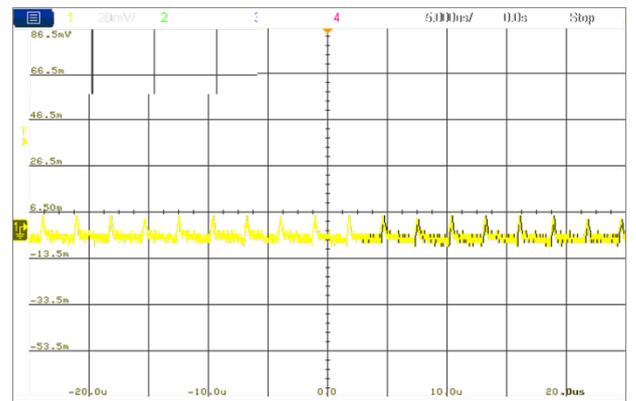
5Vin 效率 VS 负载电流



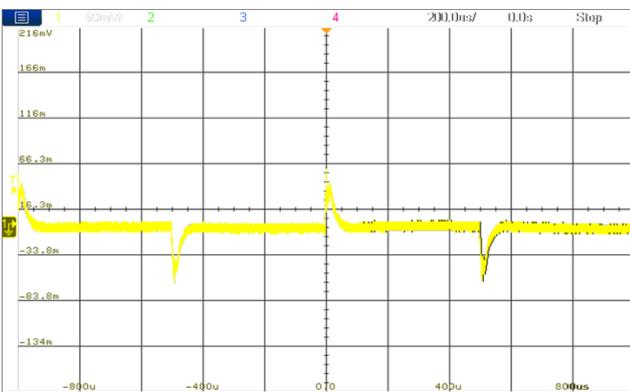
12Vin 效率 VS 负载电流



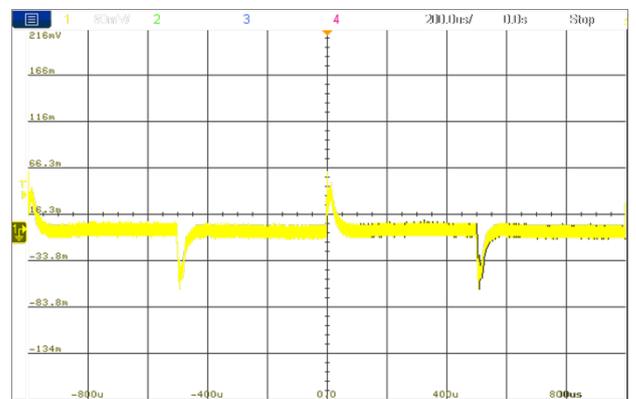
5Vin 1Vout 50A 纹波



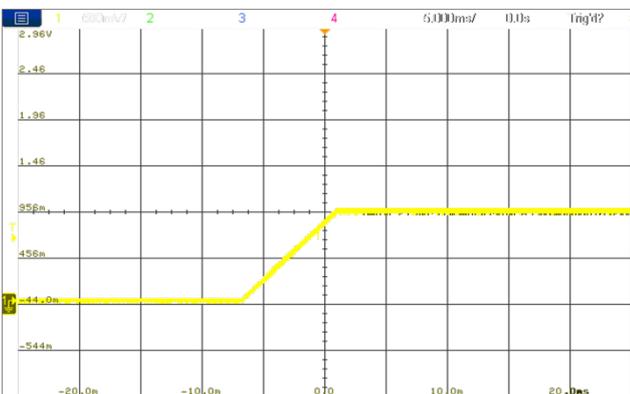
12Vin 1Vout 50A 纹波



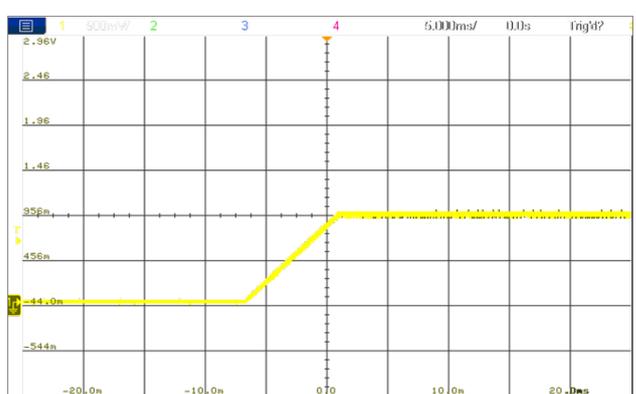
5Vin 1Vout 0-25% 10A/us 动态



12Vin 1Vout 0-25% 10A/us 动态



5Vin 1Vout 50A 启动



12Vin 1Vout 50A 启动

PIN 脚功能

V_{DD25} (G10) : 内部产生的 2.5V 电源输出引脚。请勿在此引脚上加载外部电流；它严格用于偏置内部逻辑，并为连接到配置编程引脚的内部上拉电阻提供电流。无需外部去耦。

V_{OUT1_CFG} (H10) : V_{OUT1} 的输出电压选择引脚，粗调设置。如果 V_{OUT1_CFG} 引脚保持开路，或者 AST4700I 配置为忽略引脚绑定 (RCONFIG) 电阻 (MFR_CONFIG_ALL [6] = 1b)，那么 AST4700I 的目标 V_{OUT0} 输出电压设置 (VOUT_COMMAND) 以及相关的电源良好和 OV/UV 警告与故障阈值是在 SV_{IN} 上电时根据 AST4700I 的 NVM 内容决定。从该引脚连接到 SGND 的电阻，并使用出厂默认 NVM 设置 MFR_CONFIG_ALL[6] = 0b，可将 AST4700I 的通道 1 输出配置为上电至与 NVM 内容不同的 VOUT_COMMAND 值 (以及相关的输出电压监控和保护/故障检测阈值)。(参见“应用信息”部分。) 以这种方式将电阻从 V_{OUT1_CFG} 连接到 SGND，可以方便地将多个具有相同 NVM 内容的 AST4700I 配置为不同的输出电压设置，而无需 GUI 干预或“定制预编程”模块 NVM 内容。应使电容最小，特别是当该引脚保持开路时，以确保准确检测引脚状态。请注意，对 V_{OUT1_CFG} 使用 RCONFIG 会影响 V_{OUT1} 范围设置 (MFR_PWM_MODE1[1]) 和环路增益。

ASEL (H11): 串行总线地址配置引脚。在任何给定的 I2C/SMBus 串行总线段上，每个器件必须有自己唯一的从机地址。如果该引脚保持开路，则 AST4700I 上电后使用默认从机地址 0x4F (十六进制)，即 1001111b (本文档中使用行业标准惯例：7 位从机寻址)。在该引脚与 SGND 之间连接一个电阻，可以将 AST4700I 从机地址的低 4 位从该默认值更改为其他值。应使电容最小，特别是当该引脚保持开路时，以确保准确检测引脚状态。

FAULT0 / FAULT1 (H13/H12) : 数字可编程 FAULT 输入和输出。开漏输出。应用中需要一个接 3.3V 电压的上拉电阻。

SDA (H14) : 串行总线数据开漏输入和输出。应用中需要一个接 3.3V 电压的上电阻。

WP (J8) : 写保护引脚，高电平有效。内部 10 μ A 电流源将此引脚拉至 V_{DD33}。如果 WP 为开路或逻辑高电平，则仅支持 I2C 写入 PAGE_OPERATION、CLEAR_FAULTS、MFR_CLEAR_PEAKS 和 MFR_EE_UNLOCK。此外，将 1b 写入前缀为“STATUS”的寄存器中的相应位可以清除个别故障。如果 WP 为低电平，则 I2C 写操作不受限制。

V_{OUT0_CFG} (J10) : V_{OUT0} 的输出电压选择引脚，粗调设置。如果 V_{OUT0_CFG} 引脚保持开路，或者 AST4700I 配置为忽略引脚绑定 (RCONFIG) 电阻 (MFR_CONFIG_ALL [6] = 1b)，那么 AST4700I 的目标 V_{OUT0} 输出电压设置 (VOUT_COMMAND) 以及相关的电源良好和 OV/UV 警告与故障阈值是在 SV_{IN} 上电时根据 AST4700I 的 NVM 内容决定。

从该引脚连接到 SGND 的电阻，并使用出厂默认 NVM 设置 MFR_CONFIG_ALL[6] = 0b，可将 AST4700I 的通道 0 输出配置为上电至与 NVM 内容不同的 VOUT_COMMAND 值 (以及相关的输出电压监控和保护/故障检测阈值)。(参见“应用信息”部分。) 以这种方式将电阻从 V_{OUT0_CFG} 连接到 SGND，可以方便地将多个具有相同 NVM 内容的 AST4700I 配置为不同的输出电压设置，而无需 GUI 干预或“定制预编程”模块 NVM 内容。应使电容最小，特别是当该引脚保持开路时，以确保准确检测引脚状态。请注意，对 V_{OUT0_CFG} 使用 RCONFIG 会影响 V_{OUT0} 范围设置 (MFR_PWM_MODE0[1]) 和环路增益。

FSWPH_CFG (J11): 开关频率、通道相位交错角和与 SYNC 的相位关系配置引脚。如果此引脚保持开路，或者 AST4700I 配置为忽略引脚绑定 (RCONFIG) 电阻，即 MFR_CONFIG_ALL[6] = 1b，那么 AST4700I 的开关频率 (FREQUENCY_SWITCH) 和通道相位关系 (相对于 SYNC 时钟，MFR_PWM_CONFIG[2:0]) 是在 SV_{IN} 上电时由

AST4700I 的 NVM 内容决定。默认出厂值为：350kHz 工作频率；通道 0 为 0°；通道 1 为 180° (本文档约定：相位角 0° 表示通道的开关节点上升与 SYNC 脉冲的下降沿重合)。从该引脚到 SGND 连接一个电阻 (并使用出厂默认 NVM 设置 MFR_CONFIG_ALL[6] = 0b)，可以方便地将多个具有相同 NVM 内容的 AST4700I 配置为不同的开关工作频率，以及让模块内外的并联通道具有不同的相位交错角设置，而无需 GUI 干预或“定制预编程”模块 NVM 内容。(参见“应用信息”部分。) 应使电容最小，特别是当该引脚保持开路时，以确保准确检测引脚状态。

RUN0 (J12)、RUN1 (K12)：分别为通道 0 和 1 的使能运行输入。开漏输入和输出。这些引脚的逻辑高电平使能 AST4700I 的相应输出。这些开漏输出引脚使引脚保持低电平，直到 AST4700I 脱离复位状态并检测到 SV_{IN} 超过 V_{IN_ON} 。应用中需要一个接 3.3V 电压的上拉电阻。当发生全局故障和/或特定通道故障时，若其故障响应配置为门锁并停止调节，则 AST4700I 会根据需要拉低 RUN_0 和/或 RUN_1 。在这种情况下，要重启模块，须通过 I²C 发出 CLEAR_FAULTS 命令或让 SV_{IN} 断电再重启。请勿使用低阻抗源将 RUN 拉至逻辑高电平。

ALERT (J13)：开漏数字输出。只有当 SMBus 系统中实现了 SMBALERT 中断检测时，应用中才需要一个接 3.3V 电压的上拉电阻。

SCL (J14)：串行总线时钟开漏输入 (如果使能了时钟展宽，其可以是输入和输出)。应用中需要一个接 3.3V 电压的上拉电阻，用于与名义上驱动该时钟的 SMBus 主机进行数字通信。AST4700I 永远不会遇到需要启用时钟展宽的情况，除非 SCL 通信速度超过 100kHz——即便如此，AST4700I 也不会展宽时钟，除非通过设置 MFR_CONFIG_ALL[1] = 1b 来使能时钟展宽。出厂默认 NVM 配置设置是 MFR_CONFIG_ALL[1] = 0b：禁用时钟展宽。如果需要以高于 100kHz 的时钟速度在总线上进行通信，则用户的 SMBus 主机需要实现时钟展宽支持，以确保串行总线通信可靠，只有

这样才应设置 MFR_CONFIG_ALL[1] = 1b。当使能时钟展宽时，SCL 成为 AST4700I 的双向开漏输出引脚。

SHARE_CLK (K8)：共享时钟，双向开漏时钟共享引脚。标称 100kHz。用于同步多个 AST4700I (以及任何其他带有 SHARE_CLK 引脚的器件) 之间的时基，以实现明确界定的供电轨时序和跟踪。将所有此类器件的 SHARE_CLK 引脚连接在一起；所有带 SHARE_CLK 引脚的器件都将与最快的时钟同步。只有同步器件之间的时基时，才需要一个接 3.3V 电压的上拉电阻。

V_{DD33} (K9)：内部产生的 3.3V 电源输出引脚。此引脚只应当用于为 FAULTn、SHARE_CLK 和 SYNC 所需的上拉电阻提供外部电流，可以用来为 RUNn、SDA、SCL 和 ALERT 上的上拉电阻提供外部电流。无需外部去耦。

TSNS0a (K13)、TSNS0b (T14)：分别为通道 0 温度激励/测量和热传感器引脚。将 TSNS0a 连接到 TSNS0b，这样 AST4700I 就能监视通道 0 的功率级温度。

SYNC (K14)：PWM 时钟同步输入和开漏输出引脚。FREQUENCY_SWITCH 命令的设置决定 AST4700I 是“同步主机”还是“同步从机”模块。当 AST4700I 是同步主机时，FREQUENCY_SWITCH 包含通道 0 和 1 的 PMBus 线性数据格式的指令开关频率，器件以此指令速率将其 SYNC 引脚驱动为低电平 500ns。但是，同步从机使用 MFR_CONFIG_ALL[4] = 1b，不会拉低 SYNC 引脚。AST4700I 的 PLL 将 AST4700I 的 PWM 时钟与 SYNC 引脚上的波形同步，因此，无论 AST4700I 是同步主机还是从机，应用中都需要一个接 3.3V 电压的上拉电阻。例外情况：允许使用外部时钟驱动 SYNC 引脚；详见“应用信息”部分。

GND (L1、M1、L2、M2、A3-AB3、A4-AB4、A5-AB5、L6、M6、L7、M7、N8、P8、A9-G9、P9-U9、W9-AB9、A10-F10、K10、N10、P10、T10-W10、AA10、AB10、A11-G11、

K11、N11–R11、U11–AB11、G12、N12–T12、G13、T13、L14、M14、L15、M15）：输入和输出回路的电源地引脚。

SGND (L10、M10、L11、M11、L12、M12)：SGND 是 AST4700I 的信号地回路。SGND 未内部连接到 GND。应将 SGND 连接到 AST4700I 的局部 GND。参见推荐布局。

TSNS1a (L13)、TSNS1b (G14)：分别为通道 1 温度激励/测量和热传感器引脚。将 TSNS1a 连接到 TSNS1b，这样 AST4700I 就能监视通道 1 的功率级温度。

COMP0b (M13)、COMP1b (L9)：分别为通道 0 和 1 的电流控制阈值和误差放大器补偿节点。每个通道的电流比较器的跳变阈值随着 COMPnb 电压的升高而相应提高。这些 COMPnb 引脚(端接到 SGND)上的 AST4700I 内部小滤波电容 (22pF) 会在误差放大器响应中引入高频滚降，从而在控制环路中实现良好的噪声抑制。参见 COMP0a/COMP1a。

SW0 (N1–AB1、N2–AB2)、SW1 (A1–K1、A2–K2)：各通道用于内部连接的开关节点。将所有 SWn 引脚与较大覆铜区域相连以减小电阻。可以应用一个 R–C 缓冲网络来减少或消除开关节点振铃，或者保持浮空。请参阅“应用信息”部分。

V_{IN0} (N6–AB6、N7–AB7、R8–AB8)、V_{IN1} (A6–K6、A7–K7、A8–H8)：电源输入引脚。在这些引脚和 GND 引脚之间施加输入电压。建议将输入去耦电容直接放在 V_{IN} 引脚和 GND 引脚之间。

V_{BIAS} (T11)：MOSFET 驱动器的内部 5V 降压稳压器输出。使用 22μF 陶瓷电容将此引脚去耦至 GND。

COMP0a (N13)、COMP1a (L8)：环路补偿节点。内部 PWM 环路补偿电阻 RCOMPn 连接在每个通道上的 COMPnb 和 COMPna 之间。从 COMPna 连接到 SGND 的外部电容与

RCOMPn 一起构成一个 R–C 滤波器，用于执行 II 型补偿。RCOMPn 可以使用 MFR_PWM_COMP [4:0] 命令进行调整。AST4700I PWM 误差放大器的跨导可以使用 MFR_PWM_COMP [7:5] 命令进行调整。这两个环路补偿参数可以在器件运行时设置。更多详情参见“应用信息”部分中的“可编程环路补偿”小节。

V_{OSNS0}⁻ (N14)、V_{OSNS1}⁻ (M8)：负差分电压检测输入。参见 V_{OSNS0}⁺和 V_{OSNS1}⁺。

I_{IN}⁻ (P13)：负电流检测放大器输入。如果未使用输入电流检测放大器，则该引脚必须短接到 I_{IN}⁺和 SV_{IN}引脚。有关输入电流检测的详细信息，请参见“应用”部分。

V_{OSNS0}⁺ (P14)、V_{OSNS1}⁺ (M9)：正差分电压检测输入。V_{OSNSn}⁺和 V_{OSNSn}⁻一起用于对负载点 (POL) 的输出电压进行开尔文检测，并将差分反馈信号直接提供给反馈环路。通过串行总线控制 V_{OUTn} 的目标调节电压。其在 SV_{IN} 上电时的初始命令值由 NVM (非易失性存储器) 内容决定 (出厂默认值：1.000V)，或者也可以通过配置电阻设置；参见 V_{OUTn_CFG} 和“应用信息”部分。

INTV_{CC} (R10)：内部稳压器，5.5V 输出。当 AST4700I 在 5.75V ≤ SV_{IN} ≤ 16V 范围内运行时，LDO 从 SV_{IN} 产生 INTV_{CC} 以偏置 AST4700I 的内部控制电路和 MOSFET 驱动器。无需外部去耦。无论 RUNn 引脚状态如何，INTV_{CC} 都会被调节。当 AST4700I 在 4.5V ≤ SV_{IN} < 5.75V 范围内运行时，INTV_{CC} 必须短接至 SV_{IN}。

I_{IN}⁺ (R13)：正电流检测放大器输入。如果未使用输入电流检测放大器，则该引脚必须短接到 I_{IN}⁻和 SV_{IN}引脚。有关输入电流检测的详细信息，请参见“应用信息”部分。

PGOOD0 (R14)、PGOOD1 (N9)：电源良好指示输出。开漏逻辑输出，当输出超出 UV 和 OV 调节窗口时，其会被拉至地。该输出通过

内部 100 μ s 滤波器去毛刺。应用中需要一个接 3.3V 电压的上拉电阻。

V_{OUT0} (U12-AB12、U13-AB13、U14-AB14、N15- AB15)、V_{OUT1} (A12-F12、A13-F13、A14-F14、A15-K15) : 开关模式稳压器的电源输出引脚。在这些引脚和 GND 引脚之间应用输出负载。建议将输出去耦电容直接放在这些引脚和 GND 引脚之间。

SV_{IN} (V9) : AST4700I 内部控制 IC 和内部 5V 偏置电路的输入电源。在大多数应用中，SV_{IN} 连接到 V_{IN0} 和/或 V_{IN1}。SV_{IN} 可以通过独立于 V_{IN0}/V_{IN1} 的辅助电源供电，用于从较低电源 (如 3.3V) 为 V_{IN0} / V_{IN1} 供电。SV_{IN} 还连接到内

部 5V 偏置电路，当 SV_{IN} 高于 7V 时，该电路将取代内部 LDO。将 RUN_P 引脚拉高，可以开启此内部偏置电路。当采用 4.5V 到 5.75V 输入工作时，主输入电源应连接到 SV_{IN} 和 INTV_{CC}，RUN_P 引脚应接地。

RUNP (Y10) : 当 SV_{IN} 高于 7V 时，该引脚使能片上偏置电路以为 IC 供电并驱动 MOSFET。当 V_{IN} 小于 5.75V 时，该引脚接地以禁用偏置电路。请参阅“应用信息”部分。

简化框图

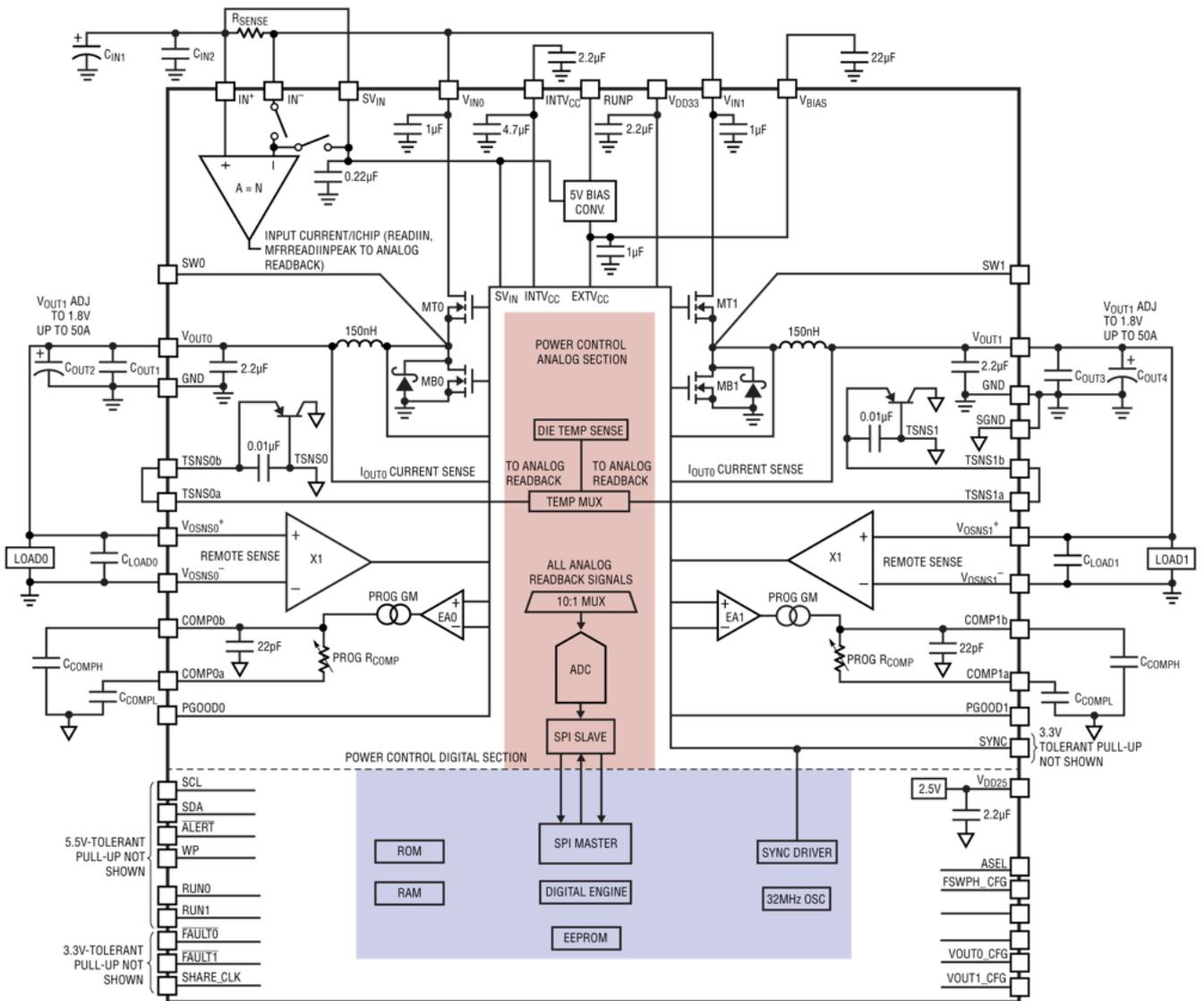


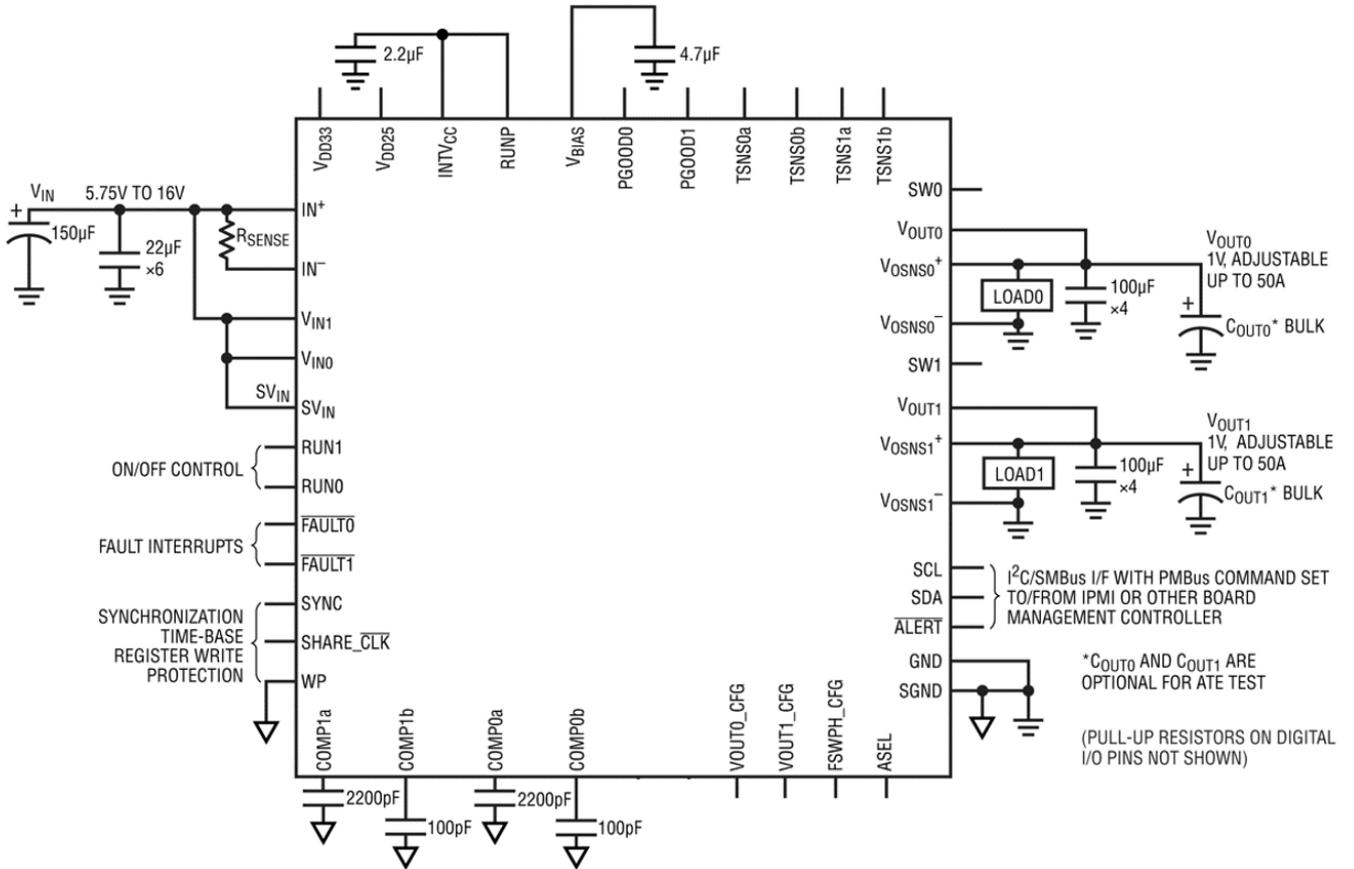
图 1. AST4700I 简化框图

去耦要求 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 。使用图 1 配置。

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
C_{INn}	外部高频输入电容要求 ($5.75\text{V} \leq V_{IN} \leq 16\text{V}$, 指令 V_{OUTn} 为 1.000V)	$I_{OUT0} = 50\text{A}$		88		μF
		$I_{OUT1} = 50\text{A}$		88		μF
C_{OUTn}	外部高频输出电容要求 ($5.75\text{V} \leq V_{IN} \leq 16\text{V}$, 指令 V_{OUTn} 为 1.000V)	$I_{OUT0} = 50\text{A}$		800		μF
		$I_{OUT1} = 50\text{A}$		800		μF

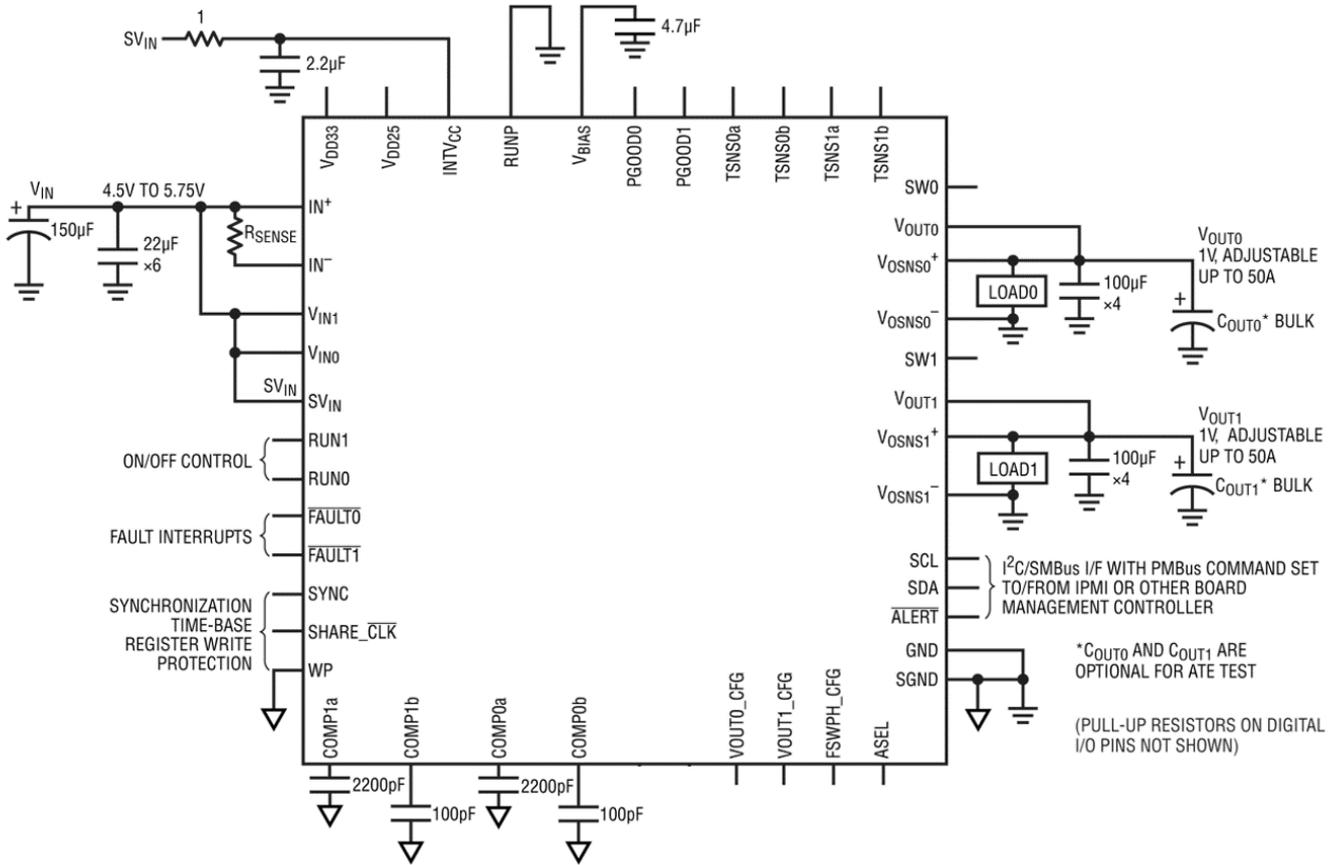
测试电路

测试电路 1. AST4700I ATE 高 V_{IN} 工作范围配置, $5.75V \leq V_{IN} \leq 16V$



测试电路

测试电路 2. AST4700I ATE 低 V_{IN} 工作范围配置, $4.5V \leq V_{IN} \leq 5.75V$



应用综述

功率模块简介

AST4700I 是一款高度可配置的双路 50A 输出独立非隔离开关模式降压型 DC/DC 电源，内置具 ECC 功能的 EEPROM NVM (非易失性存储器) 和基于 I²C 的 PMBus/SMBus 两线串行通信接口，支持 400kHz SCL 总线速度。两个输出电压可通过一些外部输入和输出电容及上拉电阻来调节 (V_{OUT0} 、 V_{OUT1} —统称为 V_{OUTn})。集成的 16 位 ADC (模数转换器) 以循环方式连续对输入输出电压和输入输出电流的回读遥测数据及模块温度进行数字化处理。许多故障阈值和响应是可定制的。发生故障时，数据可以自动保存到 EEPROM 中，生成的故障日志可以在之后通过 I²C 检索以供分析。

功率模块概述、主要特点

主要特点包括：

- 专用电源良好指示
- 直接输入和芯片电流检测
- 可编程环路补偿参数
- 可编程输入电压开启和关断阈值电压
- 可编程电流限值 n
- 可编程开关频率
- 可编程 OV 和 UV 阈值电压
- 可编程开启和关断延迟时间
- 可编程输出上升/下降时间
- 支持同步多相操作 (2、3、4 或 6 相) 的锁相环
- 具 ECC 功能的非易失性配置存储器
- 可选外部配置电阻，用于更改关键工作参数
- 可选的时基互连，用于多个控制器之间的同步
- WP 引脚保护内部配置
- 按照用户出厂配置独立运行
- 符合 PMBus 标准的 400kHz 接口
- PMBus 接口用于在系统运行期间访问重要的电源管理数据，包括：
 - TINIT 启动时间：65ms
 - 内部控制器温度
 - PWM 同步电路

- MFR_ADC_CONTROL 支持一个参数的快速 ADC 采样
- 两个通道均支持全差分输出检测； V_{OUT0}/V_{OUT1} 均可编程至最高 3.6V
- EEPROM 利用 EXT VCC 上电并编程
- 输入电压最高可达 16V
- ΔV_{BE} 温度检测
- SYNC 争用电路
- 故障记录
- 可编程输出电压
- 内部电源通道温度平均输出电流
- 平均输出电压
- 平均输入电压
- 平均输入电流
- 来自 V_{IN} 的平均芯片输入电流
- 可配置、锁存和未锁存的个别故障与警告状态使用 PAGE 命令 (即 PAGE 0 或 1) 通过 PMBus 访问各个通道。

故障报告和关断行为是完全可配置的。提供了两个独立的 FAULT0、FAULT1 输出，二者均可独立屏蔽。

针对 ALERT、PGOOD0/PGOOD1 功能提供了三个专用引脚。关断操作也允许独立屏蔽所有故障，并且可以在未锁存 (打嗝) 或锁存模式下工作。

各个状态命令支持通过串行总线报告故障，以识别具体故障事件。故障或警告检测包括以下内容：

- 输出欠压/过压
- 输入欠压/过压
- 输入和输出过流
- 内部过温
- 通信、存储器或逻辑 (CML) 故障

具 ECC 功能的 EEPROM

AST4700I 内置具 ECC (纠错码) 功能的 EEPROM，用于存储用户配置设置和故障日志信息。EEPROM 耐久性、保存期限和批量写操作时间已在“电气特性”和“绝对最大额定值”部分中明确。在 $T_J = 85^\circ\text{C}$ 以上执行写操作是可能

的，但不保证电气特性，并且 EEPROM 性能会降低。在 -40°C 至 125°C 的温度范围内执行读操作不会降低 EEPROM 的性能。在 85°C 以上写入 EEPROM 会导致保存期限缩短。故障记录功能(用于调试高温下可能发生的系统问题)仅写入故障日志 EEPROM 位置。如果偶尔在 85°C 以上写入这些寄存器，故障日志的数据保存期限会略有缩短，但不影响该功能的实用性。

当芯片温度高于 85°C 时，建议不要写入 EEPROM。如果芯片温度超过 130°C ，AST4700I 将禁用所有 EEPROM 写操作。当芯片温度降至 125°C 以下时，所有 EEPROM 写操作会重新使能。当芯片温度超过内部过温故障限值 160°C (其有 10°C 的迟滞) 时，控制器也会禁用所有开关操作。

AST4700I 包含两个集成恒定频率电流模式控制降压型稳压器(通道 0 和通道 1)，其内置功率 MOSFET 支持快速开关。出厂 NVM 默认开关频率为 350kHz SYNC 时钟频率，稳压器开关频率与此同步。通道之间的默认相位交错角为 180° 。FSWPH_CFG 上的引脚绑定电阻配置 SYNC 时钟的频率(开关频率)以及通道之间和相对于 SYNC 信号下降沿的相位关系。(开关频率和相位角分配的大多数可能组合可通过电阻引脚编程设置。配置 AST4700I 的 NVM 可实现电阻引脚绑定无法提供的设置。)当 FSWPH_CFG 引脚绑定电阻设置 AST4700I 通道的相位关系时，该模块不驱动 SYNC 时钟；相反，SYNC 变为严格的高阻抗输入，通道开关频率与外部生成的时钟或伴随 AST4700I (通过上拉电阻接 V_{DD33}) 提供的 SYNC 同步。开关频率和相位关系可通过 I²C 接口改变，但只能在开关动作停止时，即模块未在调节任一输出时。详见“应用信息”部分。

通道 0 和通道 1 的可编程模拟反馈环路补偿通过 COMPna 至 SGND 的电容连接和 COMPnb 至 SGND 的电容实现。COMPnb 引脚用于高频增益滚降，是具有可编程范围的 gm 放大器输出。COMPna 引脚具有可编程电阻范围，同一个接 SGND 的电容一起设置低频

极点。参见“可编程环路补偿”部分。AST4700I 模块具有充足的稳定性裕量和良好的瞬态性能，支持各种输出电容，甚至全陶瓷 MLCC。

上电和初始化

AST4700I 设计提供独立的电源定序和受控的开启与关断操作。它采用单输入电源 (4.5V 至 16V) 工作，三个片内线性稳压器产生 2.5V 、 3.3V 和 5.5V 的内部电压。如果 V_{IN} 不超过 6V ，则 V_{IN} 和 SV_{IN} 引脚、INTV_{CC} 和 SV_{IN} 引脚必须连接在一起。控制器配置由基于内部阈值的 UVLO 初始化，其中 SV_{IN} 必须为 4V 左右， 5.5V 、 3.3V 和 2.5V 线性稳压器必须在稳压值的约 20% 范围内。除电源外，PMBus RESTORE_USER_ALL 或 MFR_RESET 命令也能初始化器件。

AST4700I 内置一个 5V 降压转换器，其位于控制器的 SV_{IN} 和 EXT_{VCC} 之间，用以提高整体效率。 5V 降压转换器由 RUN_P 引脚信号控制，除非 SV_{IN} 高于 7V ，否则它不会接管内部稳压器。该 5V 转换器用于提高效率，不是 AST4700I 运行所必需的。

初始化期间会识别外部配置电阻和/或将 NVM 的内容读入控制器的命令中，并且功率链路保持关闭。RUN_n、FAULT_n 和 PGOOD_n 保持低电平。AST4700I 将使用表 1 至表 3 中的内容来确定电阻定义的参数。详见“电阻配置”部分。电阻配置引脚仅控制控制器的某些预设值。其余值是在出厂时或由用户在 NVM 中编程。

如果未插入配置电阻或者置位忽略 RCONFIG 位，则 AST4700I 将仅使用 NVM 的内容来确定 DC/DC 特性。上电或复位时总是会读取 ASEL 值，除非该引脚开路。ASEL 设置 4 个低位 LSB，MSB 由 NVM 设置。详见“应用信息”部分。

器件初始化后，附加比较器监视 V_{IN} 。首先必须超过 V_{IN_ON} 阈值，然后输出电源定序才会开始。在最初应用 V_{IN} 之后，器件通常需要 70ms 来初始化并启动 TON_DELAY 定时

器。电压和电流的回读可能再需要 0ms 至 90ms。

软启动

下面说明的启动定序是基于时间的。软启动之前，该器件必须进入运行状态。器件完成初始化，并且 SV_{IN} 大于 V_{IN_ON} 阈值之后，AST4700I 便释放运行引脚。如果应用中使用多个 AST4700I，其各自的运行引脚都会保持低电平，直到所有器件都完成初始化，并且 SV_{IN} 超过每个器件的 V_{IN_ON} 阈值。SHARE_CLK 引脚确保所有连接到该信号的器件使用相同的时基。施加 SV_{IN} 之后，SHARE_CLK 引脚会保持低电平到器件完成初始化为止。如果 SHARE_CLK 为低电平 (将 MFR_CHAN_CONFIG 的第 2 位设置为 1)，则 AST4700I 可以设置为关闭 (或保持关闭)。这样，用户就能确保多个器件同步，即便 RUN 引脚由于电路板限制而无法连接在一起也无妨。通常，如果用户关心芯片之间的同步，最好不仅要将所有 RUN 引脚连接在一起，还要将所有 SHARE_CLK 引脚连接在一起，并通过 10k 电阻上拉至 V_{DD33} 。这能确保所有芯片同时开始定序并使用相同的时基。

在 RUN 引脚释放之后，进入恒定输出电压调节状态之前，AST4700I 执行单调初始斜坡或“软启动”。软启动过程会主动调节负载电压，同时将目标电压从 0V 数字式斜升至指令电压设定点。一旦指令 AST4700I 开启 (在上电和初始化之后)，控制器在等待用户指定的开启延迟时间 (TON_DELAY) 之后，就会启动此输出电压斜坡。电压斜坡的上升时间可以使用 TON_RISE 命令进行编程，以最大限度减少与启动电压斜坡相关的浪涌电流。TON_RISE 的值设置为小于 0.25ms 的任何值时会禁用软启动功能。AST4700I PWM 在 TON_RISE 操作期间始终使用断续模式。在断续模式下，一旦在电感中检测到反向电流，就会断开底部 MOSFET。这样，稳压器启动后将接入预偏置负载。当达到 TON_MAX_FAULT_LIMIT 时，器件转换为连续模式。如果 TON_MAX_FAULT_LIMIT 设置为 0，则没有时间限制，在 TON_RISE 完成、VOUT 超过

VOUT_UV_FAULT_LIMIT 之后且 IOUT_OC 不存在时，器件转换到所需的导通模式。但是，不建议将 TON_MAX_FAULT_LIMIT 设置为 0。

基于时间的定序方案

输出开启和关闭定序的默认模式是基于时间的。在 RUN 引脚变为高电平、PMBus 命令开启或 V_{IN} 上升到预编程电压以上之后，经过 TON_DELAY 时间，每路输出都会使能。关闭定序以类似方式处理。为确保正确定序，务必将所有 IC 的 SHARE_CLK 引脚连接在一起，并将 RUN 引脚连接在一起。如果由于某些原因无法将 RUN 引脚连接在一起，则应将 MFR_CHAN_CONFIG 的第 2 位设置为 1。该位要求 SHARE_CLK 引脚先提供时钟，然后电源输出才能启动。当 RUN 引脚被拉低时，AST4700I 会使该引脚保持低电平到 MFR_RESTART_DELAY 结束。最小 MFR_RESTART_DELAY 为 $TOFF_DELAY + TOFF_FALL + 136ms$ 。这种延迟确保所有供电轨正确定序。AST4700I 在内部计算此延迟，不会处理更短的延迟。但是，器件可以使用更长的指令 MFR_RESTART_DELAY。允许的最大值为 65.52 秒。

基于电压的定序方案

定序也可以是基于电压的。对于每路输出，当超过 UV 阈值时，PGOODn 引脚就会置位。可以将一个 AST4700I 的 PGOOD 引脚信息馈送到序列中下一个 AST4700I 的 RUN 引脚，尤其是跨多个 AST4700I 的情况。PGOODn 有一个 100 μ s 滤波器。如果 VOUT 电压在 UV 阈值上下徘徊很长一段时间，PGOODn 输出可能会多次反转。为了解决此问题，应将 TON_RISE 时间设置为 100ms 以下。

如果在供电轨串中检测到故障，只有发生故障的供电轨和下游供电轨会因故障而关闭。故障供电轨前面的器件串中的供电轨将保持开启，除非指令其关闭。

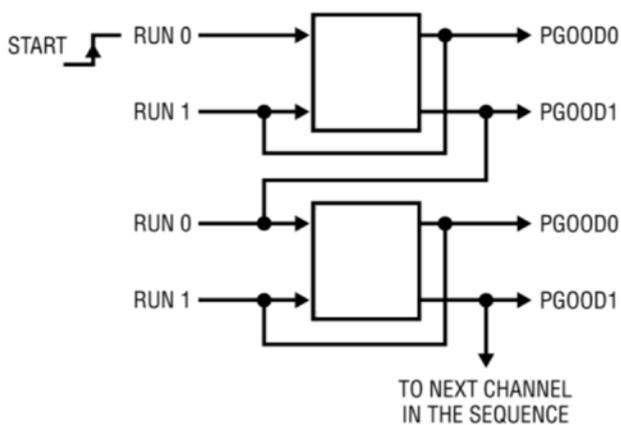


图 2. 基于事件 (电压) 的定序方案

关断

AST4700I 支持两种关断模式。第一种模式是闭环关断响应，使用用户定义的关断延迟 (TOFF_DELAY) 和斜坡下降速率 (TOFF_FALL)。控制器保持该工作模式的时间是 TOFF_FALL。第二种模式是断续导通模式，控制器不会从负载吸取电流，下降时间将由输出电容和负载电流设置，而不是 TOFF_FALL。

关断是为了响应如下情况：发生故障状况，SHARE_CLK 丢失 (如果 MFR_CHAN_CONFIG 的第 2 位设置为 1)， V_{IN} 低于 V_{IN_OFF} 阈值，或从外部拉低 FAULT (如果 MFR_FAULT_RESPONSE 设置为抑制)。在这些情况下，功率级会被禁用，以便尽可能快地停止向负载传递能量。关断状态可以从软启动、主动调节状态或通过用户干预而进入。

有两种方法可以响应故障，即重试模式和闩锁模式。在重试模式下，控制器通过关断并进入非活动状态 (时间为可编程延迟时间 MFR_RETRY_DELAY) 来响应故障。如果输出一禁用，导致关断的故障即消失，那么此延迟可最大限度地减少与自动重试相关的占空比。重试延迟时间由以下两者中的较长时间决定：MFR_RETRY_DELAY 命令，或稳压输出衰减到编程值的 12.5% 以下所需的时间。如果多路输出由同一 FAULTn 引脚控制，则故障输出的衰减时间决定重试延迟时间。如果输出的自然衰减时间过长，可以通过置位 MFR_CHAN_CONFIG 的第 0 位来消除

MFR_RETRY_DELAY 命令的电压要求。另一方面，闩锁模式意味着控制器在故障之后保持闩锁状态，清除闩锁状态需要用户干预，例如切换 RUNn 或指令器件先关再开。

轻负载电流操作

AST4700I 有两种工作模式：高效率断续导通模式或强制连续导通模式。利用 MFR_PWM_MODE 命令选择模式 (启动模式始终是断续导通，强制连续是默认运行模式)。如果控制器使能断续工作模式，则不允许电感电流反向。反向电流比较器的输出在电感电流就要达到零之前关闭底部 MOSFET，防止其反向并变为负值。

强制连续工作模式允许电感电流在轻负载或大瞬态状况下反向。峰值电感电流仅由 COMPnb 引脚上的电压决定。在该模式下，轻负载时的效率低于断续工作模式下的效率。但是，连续模式下输出纹波较低，对音频电路的干扰较少，不过可能引起反向电感电流，导致输入电源升压。 $V_{IN_OV_FAULT_LIMIT}$ 可以检测到这种情况并关闭有问题的通道。然而，此故障是基于 ADC 读操作，可能需要 $t_{CONVERT}$ 时间才能检测到。如果担心输入电源升压，应使器件保持断续导通模式。

如果器件设置为断续工作模式，当电感平均电流增加时，控制器会自动将工作模式从断续模式变为连续模式。

开关频率和相位

PWM 的开关频率可以利用内部振荡器或外部时基建立。无论时钟是内部提供还是外部提供，内部锁相环 (PLL) 都会使 PWM 控制以适当的相位关系与该时序参考同步。通过 PMBus 命令、NVM 设置或表 2 所示的外部配置电阻，还可以配置该器件向其他器件提供主时钟。

作为时钟主机，AST4700I 将以选定的速率驱动其开漏 SYNC 引脚，脉冲宽度为 500ns。在这种情况下，SYNC 和 V_{DD33} 之间需要一个外部上拉电阻。只应指定一个连接到 SYNC 的器

件来驱动该引脚。只要外部 SYNC 频率大于设置的 SYNC 频率的 80%，AST4700I 就会自动恢复为外部 SYNC 输入，禁用其自己的 SYNC。外部 SYNC 输入的占空比应在 20% 和 80% 之间。如果外部时钟信号随后丢失，无论是否配置为驱动 SYNC，AST4700I 都可以使用自己的内部振荡器继续 PWM 操作。

通过设置 MFR_CONFIG_ALL 的第 4 位，还可以将该器件编程为始终需要外部振荡器以进行 PWM 操作。SYNC 驱动电路的状态由 MFR_PADS 的第 10 位指示。

MFR_PWM_CONFIG 命令可用来配置每个通道的相位。还可以利用 EEPROM 或外部配置电阻设置所需的相位，如表 2 所示。指定相位是 SYNC 下降沿与内部时钟沿之间的关系，其设置 PWM 锁存器以接通顶部功率开关。PWM 控制引脚还会有额外的小传播延迟。为将 FREQUENCY_SWITCH 和 MFR_PWM_CONFIG 命令写入 AST4700I，两个通道均必须关闭。

相位关系和频率选项支持许多应用选择。多个 AST4700I 模块可以同步以实现多相阵列。在这种情况下，相位应隔开 $360/n$ 度，其中 n 为驱动输出电压轨的相数。

PWM 环路补偿

AST4700I 的内部 PWM 环路补偿电阻 RCOMPna 可以利用 MFR_PWM_COMP 命令的位 [4:0] 来调整。AST4700I PWM 误差放大器的跨导 (gm) 可以利用 MFR_PWM_COMP 命令的位 [7:5] 来调整。这两个环路补偿参数可以在器件运行时设置。更多详情参见“应用信息”部分中的“可编程环路补偿”小节。

输出电压检测

AST4700I 中的两个通道均有差分放大器，可以远程检测 V_{OSNSn^+} 和 V_{OSNSn^-} 引脚之间的负载电压。遥测 ADC 也是全差分式，分别在两个通道的 V_{OSNSn^+} 和 V_{OSNSn^-} 引脚之间进行电压测量。最大允许电压为 3.6V，但 AST4700I 设计限制为 1.8V 输出。

INTV_{CC} 和内置 5V 偏置转换器

内部 INTV_{CC} 稳压器从 SV_{IN} 引脚通过 LDO 供电，为大部分内部电路和内部顶端与低端 MOSFET 驱动器供电。AST4700I 的典型 INTV_{CC} 电流约为 150mA。12V 输入电压在内部 LDO 上会有 7V 压降，乘以 150mA 等于 1.05W 功率损耗。

该模块中设计了一个 5V 降压转换器来提供这个约 150mA 的电流，通过减小此 LDO 损耗来提高效率和散热性能。当 RUNP 引脚高于 0.85V 时，该 5V 转换器导通；当 SV_{IN} 高于 7V 时，该转换器接管内部 LDO 提供约 150mA 的电流。

对于 V_{IN} 为 5V 的应用，应通过 1Ω 或 2.2Ω 电阻将 SV_{IN} 和 INTV_{CC} 引脚一起连接到 5V 输入，并将 RUNP 引脚接地以关闭 5V 偏置转换器，如测试电路 2 所示。

输出电流检测和亚毫欧 DCR 电流检测

AST4700I 采用独特的亚毫欧电感电流检测技术，在电流模式下检测超低信号的同时，可提供很高的信噪比。在重负载应用中，使用内部亚毫欧电感可实现更高的转换效率。利用 MFR_PWM_MODE[7] 可以精确设置高范围和低范围的限流阈值。

内部 DCR 检测网络 (及相应的电流限值) 基于室温下电感的 DCR 来计算。电感的 DCR 具有很大的温度系数，约为 3800ppm/°C。电感的温度系数写入 MFR_IOUT_CAL_GAIN_TC 寄存器。检测电感附近的外部温度，并利用它来修改内部限流电路，使电流限值基本保持恒定，不随温度而变化。然后，检测到的电流由 AST4700I 的遥测 ADC 数字化；ADC 的输入范围为 $\pm 128\text{mV}$ ，本底噪声为 $7\mu\text{VRMS}$ ，峰峰值噪声约为 $46.5\mu\text{V}$ 。AST4700I 使用 IOUT_CAL_GAIN 命令中存储的 DCR 值和 MFR_IOUT_CAL_GAIN_TC 命令中存储的温度系数来计算电感电流。所得电流值由 READ_IOUT 命令返回。

输入电流检测

为了检测 AST4700I 功率级消耗的总输入电流，在电源电压和顶部 N 沟道 MOSFET 的漏极之间放置一个检测电阻。 I_{IN}^+ 和 I_{IN}^- 引脚连接到检测电阻。滤波后的电压由内部高端电流检测放大器放大，并由 AST4700I 的遥测 ADC 数字化。输入电流检测放大器有三个增益设置，分别为 2x、4x 和 8x，由 MFR_PWM_MODE 命令的位 [3:2] 设置。三种增益设置的最大输入检测电压分别为 50mV、25mV 和 10mV。AST4700I 使用 IIN_CAL_GAIN 命令中存储的内部 RSENSE 值计算输入电流。由此测得的功率级电流通过 READ_IIN 命令返回。

多相负载分配

多个 AST4700I 可以组成阵列，通过汇集必要的引脚来提供均衡的负载分配解决方案。如果未提供外部振荡器，则只能使能其中一个 AST4700I 上的 SYNC 引脚。其他器件应利用 MFR_CONFIG_ALL 的第 4 位禁用 SYNC。如果存在外部振荡器，则使能 SYNC 引脚的芯片将检测外部时钟是否存在并禁用其输出。多个通道需要将所有 V_{OSNSn}^+ 引脚连接在一起，所有 V_{OSNSn}^- 引脚连接在一起，COMPna 和 COMPnb 引脚也应连接在一起。除多相应用外，请勿置位 MFR_CONFIG_ALL 的位 [4]。用户必须共享这些器件的 SYNC、SHARE_CLK、FAULT 和 ALERT 引脚。务必在 SYNC、FAULT、SHARE_CLK 和 ALERT 上使用上拉电阻。

外部/内部温度检测

温度通过 TSNS0b 或 TSNS1b 引脚 (对应于通道 0 或 1) 上的内部二极管连接的 PNP 晶体管来测量。TSNSnb 引脚应连接到相应的 TSNSna 引脚，这些回路直接连接到 AST4700I SGND 引脚。将两个不同的电流施加到二极管 (标称值为 $2\mu A$ 和 $32\mu A$)，利用内部 16 位监视 ADC 测得的 ΔV_{BE} 计算温度。AST4700I 仅实现了 ΔV_{BE} 温度检测，因此 MFR_PWM_MODE 的位 [5] 是保留位。

RCONFIG (电阻配置) 引脚

有四个输入引脚使用 1% 电阻来选择关键工作参数，电阻位于这些引脚和 SGND 之间。这些引脚是 ASEL、FSWPH_CFG、VOUT0_CFG、VOUT1_CFG。

如果引脚浮空，则使用相应 NVM 命令中存储的值。如果 MFR_CONFIG_ALL 配置命令的第 6 位在 NVM 中置位，则除 ASEL 外 (其电阻输入始终有效)，上电时将忽略电阻输入。电阻配置引脚仅在上电复位期间、MFR_RESET 之后或执行 RESTORE_USER_ALL 命令之后测量。

表 1 说明了 V_{OUTn_CFG} 引脚设置。这些引脚设置 AST4700I V_{OUT0} 和 V_{OUT1} 输出电压的粗调设置。如果引脚开路，则从 NVM 加载 VOUT_COMMAND 命令以确定输出电压。除非安装了电压配置引脚，否则默认设置是关闭开关稳压器。

如果使用 RCONFIG 引脚来确定输出电压，则以下参数设置为输出电压的百分比：

- VOUT_OV_FAULT_LIMIT..... +10%
- VOUT_OV_WARN_LIMIT..... +7.5%
- VOUT_MAX 7.5%
- VOUT_UV_FAULT_LIMIT 7%

表 2 说明了 FSWPH_CFG 引脚设置。该引脚选择各通道的开关频率和相位。表 2 中确定了两个通道和 SYNC 引脚之间的相位关系。要与外部时钟同步，应将器件置于外部时钟模式 (禁用 SYNC 输出，但频率设置为标称值)。如果没有提供外部时钟，器件将以设置的频率作为时钟。如果应用为多相且芯片之间的 SYNC 信号丢失，那么即使将器件设置并调整到相同频率，它们也不会以设计的相位工作。这可能会增加输出上的纹波电压，产生不希望的操作。如果在内部产生外部 SYNC 信号且未选择外部 SYNC，MFR_PADS 的第 10 位将置位。如果未选择频率且外部 SYNC 频率不存在，则会发生 PLL_FAULT 故障。如果用户不希望看到来自 PLL_FAULT 的 ALERT，那么即使上电时不存在有效的同步信号，也必须写入

PLL_FAULT 的 ALERT 屏蔽。有关更多信息，请参阅关于 SMBALERT_MASK 的说明。如果 SYNC 引脚连接在多个 IC 之间，则只应有一个 IC 通过 MFR_CONFIG_ALL [4] = 1 使能 SYNC 引脚，所有其他 IC 应通过 MFR_CONFIG_ALL [4] = 0 禁用 SYNC 引脚。表 3 说明了 ASEL 引脚设置。ASEL 选择 AST4700I 的从机地址。有关更多信息，请参阅表 3。

注释：根据 PMBus 规范，来自数字接口的命令可以覆盖引脚编程参数，但 ASEL 除外 (其设置始终有效)。请勿将任何器件的地址设置为 0x5A 或 0x5B，因为这些是全局地址，所有器件都会响应。

表 1. AST4700I 输出电压的 V_{OUTn_CFG} 引脚绑定查找表，粗调设置 (如果 MFR_CONFIG_ALL [6] = 1b 则不适用)

$R_{V_{OUTn_CFG}}$ * (k Ω)	V_{OUTn} (V) 粗调设置	MFR_PWM_ MODE n [1] 位
开路	NVM	NVM
22.6	3.3	0
18.0	2.5	0
15.4	1.8	0
12.7	1.5	0
10.7	1.35	1
9.09	1.25	1
7.68	1.2	1
6.34	1.15	1
5.23	1.1	1
4.22	1.05	1
3.24	0.9	1
2.43	0.75	1
1.65	0.65	1
0.787	0.6	1
0	NVM	1

*给出的 $R_{V_{OUTn_CFG}}$ 值为标称值。从电阻供应商选择 $R_{V_{OUTn_CFG}}$ ，使其值始终在表中所示值的 3% 范围以内。考虑电阻初始容差、T. C. R. 和电阻工作温度、焊接热/IR 回流以及电阻在其使用寿命期间的耐久性。热冲击/循环、湿气 (湿度) 和其他效应 (取决于具体应用)，也可能影响 $R_{V_{OUTn_CFG}}$ 值随时间的变化。所有这些影响都必须考虑，使得在产品的寿命期间内每次 SV_{IN} 上电和/或每次执行 MFR_RESET 或 RESTORE_USER_ALL 时，电阻引脚绑定都能产生预期结果。

表 2. FSWPH_CFG 引脚绑定查找表，用于设置 AST4700I 的开关频率和通道相位交错角 (如果 MFR_CONFIG_ALL[6] = 1b 则不适用)

R _{FSWPH_CFG} * (kΩ)	开关频率 (kHz)	θ _{SYNC} 对 θ ₀	θ _{SYNC} 对 θ ₁	MFR_PWM_ CONFIG 的位 [2:0]	MFR_ CONFIG_ALL 的位 [4]
开路	NVM: AST4700I 默认值 = 350	NVM: AST4700I 默认值 = 0°	NVM: AST4700I 默认值 = 180°	NVM: AST4700I 默认值 = 000b	NVM: AST4700I 默认值 = 0b
0.787	250	0°	180°	000b	0b
1.65	350	0°	180°	000b	0b
2.43	425	0°	180°	000b	0b
4.22	575	0°	180°	000b	0b
5.23	600	0°	180°	000b	0b
6.34	750	0°	180°	000b	0b
3.24	500	120°	240°	100b	0b
3.24	500	90°	270°	001b	0b
	外部**	0°	240°	010b	1b
	外部**	0°	120°	011b	1b
	外部**	60°	240°	101b	1b
	外部**	120°	300°	110b	1b
	外部**	90°	270°	001b	1b
	外部**	0°	180°	000b	1b
	外部**	120°	240°	100b	1b

*给出的R_{FSWPH_CFG} 值为标称值。从电阻供应商选择R_{FSWPH_CFG}，使其值始终在表中所示值的 3% 范围以内。考虑电阻初始容差、T. C. R. 和电阻工作温度、焊接热/IR 回流以及电阻在其使用寿命期间的耐久性。热冲击/循环、湿气（湿度）和其他效应（取决于具体应用），也可能影响R_{FSWPH_CFG} 值随时间的变化。所有这些影响都必须考虑，使得在产品的寿命期间内每次 SV_{IN}上电和/或每次执行 MFR_RESET 或 RESTORE_USER_ALL 时，电阻引脚绑定都能产生预期结果。

**外部设置对应于 FREQUENCY_SWITCH（寄存器 0x33）值设置为 0x0000；如果 MFR_CONFIG_ALL[4] = 1b，则器件的开关频率会与 SYNC 引脚上提供的时钟同步。

表 3. ASEL 引脚绑定查找表，用于设置 AST4700I 的从机地址（无论 MFR_CONFIG_ALL [6] 如何设置都适用）

R _{ASEL} * (kΩ)	从机地址
开路	100_1111_R/W
32.4	100_1111_R/W
22.6	100_1110_R/W
18.0	100_1101_R/W
15.4	100_1100_R/W
12.7	100_1011_R/W
10.7	100_1010_R/W
9.09	100_1001_R/W
7.68	100_1000_R/W
6.34	100_0111_R/W
5.23	100_0110_R/W
4.22	100_0101_R/W
3.24	100_0100_R/W
2.43	100_0011_R/W
1.65	100_0010_R/W
0.787	100_0001_R/W
0	100_0000_R/W

其中：

R/W = 控制字节中的读/写位

除非另有说明，规格表中列出的所有 PMBus 器件地址均为 7 位宽。

注释：无论 NVM 或 ASEL 电阻配置值如何设置，AST4700I 始终会响应从机地址 0x5A 和 0x5B。*给出的 R_{CFG} 值为标称值。从电阻供应商选择 R_{CFG}，使其值始终在表中所示值的 3% 范围以内。考虑电阻初始容差、T.C.R. 和电阻工作温度、焊接热/IR 回流以及电阻在其使用寿命期间的耐久性。热冲击/循环、湿气（湿度）和其他效应（取决于具体应用），也可能影响 R_{CFG} 值随时间的变化。所有这些影响都必须考虑，使得在产品的寿命期间内每次 SV_{IN} 上电和/或每次执行 MFR_RESET 或 RESTORE_USER_ALL 时，电阻引脚绑定都能产生预期结果。

表 4. 7 位和 8 位寻址表示的 AST4700I MFR_ADDRESS 命令示例

说明	十六进制器件地址		位								R/W
	7 位	8 位	7	6	5	4	3	2	1	0	
供电轨 ⁴	0x5A	0xB4	0	1	0	1	1	0	1	0	0
全局 ⁴	0x5B	0xB6	0	1	0	1	1	0	1	1	0
默认值	0x4F	0x9E	0	1	0	0	1	1	1	1	0
示例 1	0x40	0x80	0	1	0	0	0	0	0	0	0
示例 2	0x41	0x82	0	1	0	0	0	0	0	1	0
禁用 ^{2,3}			1	0	0	0	0	0	0	0	0

注释 1：此表适用于 MFR_RAIL_ADDRESS_n 命令，但不适用于 MFR_ADDRESS 命令。

注释 2：一个命令中的禁用值不会禁用该器件，也不会禁用全局地址。

注释 3：一个命令中的禁用值不会禁止器件响应其他命令中指定的器件地址。

注释 4：不建议将值 0x00、0x0C（7 位）、0x5A（7 位）、0x5B（7 位）或 0x7C（7 位）写入 MFR_CHANNEL_ADDRESS_n 或 MFR_RAIL_ADDRESS_n 命令。

故障检测和处理

该器件提供了多种故障和警告报告与处理机制。故障和警告检测功能包括：

- 输入 OV FAULT 保护和 UV 警告
- 平均输入 OC 警告
- 输出 OV/UV 故障和警告保护
- 输出 OC 故障和警告保护
- 内部控制芯片和内部模块过温故障和警告保护
- 内部欠温故障和警告保护
- CML 故障（通信、存储器或逻辑）
- 通过双向 FAULT_n 引脚检测外部故障

此外，AST4700I 可以使用传播 FAULT_n 响应命令 MFR_FAULT_PROPAGATE 将任何故障指示组合映射到相应的 FAULT_n 引脚。FAULT_n 引脚的典型用途是作为外部撬棒器件的驱动器、过温警报、过压警报，或作为中断使微控制器轮询故障命令。或者，FAULT_n 引脚可用作输入，以检测控制器下游需要立即响应的外部故障。

除非 SMBALERT_MASK 屏蔽了故障或警告，任何故障或警告事件都会导致 ALERT 引脚置为低电平。该引脚会一直保持低电平，直到出现以下事件之一：发出 CLEAR_FAULTS 命令，向故障位写入 1，偏置电源断开再接通，发出 MFR_RESET 命令，RUN 引脚断开再开启，通过 PMBus 指令器件关闭再开启，或执行 ARA 命令操作。MFR_FAULT_PROPAGATE 命令决定当检测到故障时是否将 FAULT 引脚拉低。

输出和输入故障事件处理由相应故障响应字节控制。从此类故障关断恢复可以是自主式或锁存式。自主恢复不会锁存故障，因此，

经过重试间隔之后，如果故障情况不存在，就会尝试新的软启动。

如果故障仍然存在，控制器将继续重试。重试间隔由 MFR_RETRY_DELAY 命令指定，目的是防止重复断电再上电损坏稳压器元件 (假定故障情况本身不具有立即破坏性)。MFR_RETRY_DELAY 必须大于 120ms。它不能超过 83.88 秒。

故障映射到 FAULT 引脚

将 FAULTn 引脚连接在一起，可以建立通道间故障 (包括多个 AST4700I 的通道) 的相关性。对于内部故障，配置一个或多个通道将连接到总线的 FAULTn 引脚拉低，然后将其他通道配置为在 FAULTn 引脚拉低时关断。对于自主分组重试，配置故障通道在经过重试间隔之后释放 FAULTn 引脚 (假定原始故障已被清除)。然后，分组中的所有通道开始软启动序列。如果故障响应为 LATCH_OFF，则 FAULTn 引脚会保持低电平，直到 RUN 引脚断开再开启，或指令器件关闭再开启。通过引脚或 OFF/ON 命令切换 RUN 状态会清除与该通道相关的故障。如果希望通过切换 RUN 引脚来清除所有故障，须将 MFR_CONFIG_ALL 的第 0 位设置为 1。

STATUS_WORD 和 STATUS_BYTE 命令中汇总了所有故障和警告的状态。其他故障检测和处理功能包括：

电源良好引脚

AST4700I 的 PGOODn 引脚连接到内部 MOSFET 的开漏极。当通道输出电压不在通道的 UV 和 OV 电压阈值范围内时，MOSFET 会导通并将 PGOODn 引脚拉低。在 TON_DELAY 和 TON_RISE 定序期间，PGOODn 引脚保持低电平。当相应的 RUNn 引脚为低电平时，PGOODn 引脚也会被拉低。PGOODn 引脚响应由内部 100 μ s 数字滤波器去毛刺。由于通信延迟 (最多 10 μ s)，PGOODn 引脚和 PGOOD 状态有时可能不一致。

CRC 保护

上电复位后检查 NVM 存储器的完整性。CRC 错误会阻止控制器离开非活动状态。如果发生 CRC 错误，就会设置 STATUS_BYTE 和 STATUS_WORD 命令中的 CML 位，设置 STATUS_MFR_SPECIFIC 命令中的相应位，并且 ALERT 引脚会被拉低。要尝试修复 NVM，可以将所需的配置写入控制器并执行 STORE_USER_ALL 命令，然后执行 CLEAR_FAULTS 命令。

NVM 的 AST4700I 制造部分有镜像。如果两个副本均损坏，就会设置 STATUS_MFR_SPECIFIC 命令中的“NVM CRC Fault” (NVMCRC 故障)。如果发出 CLEAR_FAULTS 或向此位写入 1 来清零后，此位保持设置状态，则发生了不可恢复的内部故障。提醒用户禁用与此特定器件相关的两个输出电源轨。制造部分中没有关于对 NVM 故障进行现场维修的规定。

串行接口

AST4700I 串行接口是符合 PMBus 标准的从器件，可在 10kHz 至 400kHz 的任何频率下工作。地址可以通过 NVM 或外部电阻分压器配置。此外，AST4700I 始终会响应全局广播地址 0x5A (7 位) 或 0x5B (7 位)。

串行接口支持 PMBus 规范中定义的如下协议：

- 1) 发送命令；
 - 2) 写入字节；
 - 3) 写入字；
 - 4) 组；
 - 5) 读取字节；
 - 6) 读取字；
 - 7) 读取块；
 - 8) 写入块。
- 如果 PMBus 主机请求 PEC，所有读操作都会返回有效的 PEC。如果 MFR_CONFIG_ALL 命令中的 PEC_REQUIRED 位置位，则在 AST4700I 收到有效 PEC 之前，不会执行 PMBus 写操作。

通信保护

PEC 写入错误 (如果 PEC_REQUIRED 有效)、尝试访问不支持的命令或将无效数据写入支持的命令，会导致 CML 错误。STATUS_BYTE 和 STATUS_WORD 命令中的 CML 位会置位，STATUS_CML 命令中的相应位会置位，并且 ALERT 引脚会被拉低。

器件寻址

AST4700I 提供了五类通过 PMBus 接口寻址的方案，具体为：1) 全局；2) 器件；3) 供电轨寻址；4) 警报响应地址 (ARA)。

全局寻址为 PMBus 主机寻址总线上所有 AST4700I 器件提供了一种方法。AST4700I 全局地址固定为 0x5A (7 位) 或 0xB4 (8 位)，无法禁用。发送到全局地址的命令与将 PAGE 设置为 0xFF 值具有相同的作用。发送的命令同时写入两个通道。全局命令 0x5B (7 位) 或 0xB6 (8 位) 与页相关，支持总线上所有 AST4700I 器件的通道特定命令。其他类型的器件可能会响应这两个全局地址或其中一个。强烈建议不要读取全局地址。

器件寻址为 PMBus 主机与 AST4700I 的单个实例通信提供了标准方法。器件地址的值由 ASEL 配置引脚和 MFR_ADDRESS 命令共同设置。使用这种寻址方式时，PAGE 命令决定目标通道。向 MFR_ADDRESS 写入 0x80 值可以禁用器件寻址。

供电轨寻址为总线主机与所有连接在一起的通道同时通信以产生单个输出电压提供了一种方法。虽然类似于全局寻址，但供电轨地址可以利用分页 MFR_RAIL_ADDRESS 命令动态分配，从而支持通道的任何逻辑分组，满足可靠系统控制的需求。同样强烈建议不要读取供电轨地址。

所有四种 PMBus 寻址方式都要求用户采用严格的规划来避免寻址冲突。与处于全局和供电轨地址的 AST4700I 器件通信应仅限于命令写入操作。

响应 V_{OUT} 和 I_{IN}/I_{OUT} 故障

V_{OUT} OV 和 UV 情况由比较器监视。OV 和 UV 限值有三种设置方式：

- 如果使用电阻配置引脚，则其为 V_{OUT} 的百分比
- 如果在工厂或通过 GUI 编程，则其在 NVM 中

- 通过 PMBus 命令

I_{IN} 和 I_{OUT} 过流监视由 ADC 读数和计算来执行。因此，这些值是基于平均电流，可能有最多 $t_{CONVERT}$ 的时间延迟。 I_{OUT} 计算考虑了 DCR 及其温度系数。输入电流等于 R_{SENSE} 电阻上测得的电压除以 MFR_RVIN 命令设置的电阻值。如果计算出的输入电流超过 $I_{IN_OC_WARN_LIMIT}$ ，则 ALERT 引脚会被拉低，并且 STATUS_INPUT 命令中的 $I_{IN_OC_WARN}$ 位置位。AST4700I 中的数字处理器可以忽略故障，关断并闭锁，或者关断并无限期重试 (打嗝)。重试间隔在 MFR_RETRY_DELAY 中设置，范围是 120ms 到 83.88 秒，以 1ms 为增量。针对 OV/UV 和 OC 的关断可以立即完成，或在用户可选的去毛刺时间后完成。

输出过压故障响应

可编程过压比较器 (OV) 用于防范瞬态过冲和输出端的长期过压。在此类情况下，顶部 MOSFET 断开，底部 MOSFET 导通。但是，当器件处于 OV 故障时，会监视反向输出电流。当其达到限值时，顶部和底部 MOSFET 均会断开无论 PMBus $V_{OUT_OV_FAULT_RESPONSE}$ 命令字节为何值，顶部和底部 MOSFET 都会保持其状态，直到过压状况被清除。从过压状况到 BG 置为高电平，此硬件级故障响应延迟时间通常为 $2\mu s$ 。使用 $V_{OUT_OV_FAULT_RESPONSE}$ 命令，用户可以选择以下任何行为：

- 仅 OV 下拉 (不能忽略 OV)
- 立即关断 (停止切换) – 闭锁
- 立即关断 – 以 MFR_RETRY_DELAY 指定的时间间隔无限期重试

“闭锁”或“重试”故障响应可以去毛刺，增量为 $(0-7) \cdot 10\mu s$ 。

输出欠压响应

对欠压比较器输出可以作出如下响应：

- 忽略
- 立即关断 – 闭锁
- 立即关断 – 以 MFR_RETRY_DELAY 指定的时间间隔无限期重试。

UV 响应可以去毛刺。

峰值输出过流故障响应

由于电流模式控制算法，电感上的峰值输出电流始终会受到限制（逐周期限流）。峰值电流限值在“电气特性”表中指定。限流电路通过限制 COMPn 最大电压来工作。由于使用内部 DCR 检测，COMPn 最大电压具有温度相关性，其与电感 DCR 的 TC 成正比。AST4700I 自动监视外部温度传感器，并修改允许的最大 COMPn 以补偿该项。IOUT_OC_FAULT_LIMIT 部分为 IOUT 限制提供了数据点。

过流故障处理电路可以执行如下行为：

- 无限期限流
- 立即关断 – 闭锁
- 立即关断 – 以 MFR_RETRY_DELAY 指定的时间间隔无限期重试。

过流响应可以去毛刺，增量为 $(0-7) \cdot 16\text{ms}$ 。

响应时序故障

TON_MAX_FAULT_LIMIT 是启动时允许 V_{OUT} 上升并建立的时间。当输出经历 SOFT_START 序列时，若检测到 VOUT_UV_FAULT_LIMIT，则说明发生 TON_MAX_FAULT_LIMIT 情况。在已达到 TON_DELAY 并启动 SOFT_START 序列之后，TON_MAX_FAULT_LIMIT 时间启动。TON_MAX_FAULT_LIMIT 的分辨率为 $10\mu\text{s}$ 。

如果在 TON_MAX_FAULT_LIMIT 时间内未达到 VOUT_UV_FAULT_LIMIT，则此故障的响应由 TON_MAX_FAULT_RESPONSE 命令值决定。此响应可能是如下选项之一：

- 忽略
- 立即关断 (停止切换) – 闭锁
- 立即关断 – 以 MFR_RETRY_DELAY 指定的时间间隔无限期重试。

此故障响应不去毛刺。TON_MAX_FAULT_LIMIT 的 0 值表示忽略故障。TON_MAX_FAULT_LIMIT 应设置为比 TON_RISE 长的时间。建议 TON_MAX_FAULT_LIMIT 始终设置为非零值，否则输出可能永远不会出现，而且用户得不到任何指示。

响应 V_{IN} OV

故障 V_{IN} 过压通过 ADC 来测量。响应由 ADC 的 100ms 典型响应时间自然地去毛刺。故障响应如下：

- 忽略
- 立即关断 – 闭锁
- 立即关断 – 以 MFR_RETRY_DELAY 指定的时间间隔无限期重试。

响应 OT/UT 故障

内部过温故障响应

内部温度传感器可防止 NVM 损坏。高于 85°C 时，建议不要写入 NVM。高于 130°C 时，由于超出内部过温警告阈值，器件会禁用 NVM，并且在温度降至 125°C 之前不会重新使能。当芯片温度超过 160°C 时，内部温度故障响应使能，PWM 禁用，直到芯片温度降至 150°C 以下。温度由 ADC 测量。内部温度故障无法忽略。用户无法调整内部温度限值。

外部过温和欠温故障响应

两个内部温度传感器用于检测每个通道上的电感和功率 MOSFET 等关键电路元件的温度。OT_FAULT_RESPONSE 和 UT_FAULT_RESPONSE 命令分别用于确定对过温和欠温状况的适当响应。如果未使用外部检测元件（不推荐），应将 UT_FAULT_RESPONSE 设置为忽略，并将 UT_FAULT_LIMIT 设置为 -275°C 。故障响应如下：

- 忽略
- 立即关断 – 闭锁
- 立即关断 – 以 MFR_RETRY_DELAY 指定的时间间隔无限期重试。

响应输入过流和输出欠流故障

输入过流和输出欠流通过 ADC 测量。故障响应如下：

- 忽略
- 立即关断 – 闭锁
- 立即关断 – 以 MFR_RETRY_DELAY 指定的时间间隔无限期重试。

响应外部故障

当任一 FAULT n 引脚被拉低时，STATUS_WORD 命令中的 OTHER 位会置位，STATUS_MFR_SPECIFIC 命令中相应的位也会置位，并且 ALERT 引脚会被拉低。响应不去毛刺。通过修改 MFR_FAULT_RESPONSE 命令，可以将每个通道配置为忽略或关断后重试，以响应其 FAULTn 引脚变为低电平事件。为避免 ALERT 引脚在 FAULT 被拉低时置为低电平，应将 MFR_CHAN_CONFIG 的第 1 位置位，或使用 SMBALERT_MASK 命令屏蔽 ALERT。

故障记录

AST4700I 具有故障记录功能。数据按顺序记录到存储器中。数据存储在 RAM 中不断更新的缓冲器中。发生故障事件时，故障日志缓冲器从 RAM 缓冲器复制到 NVM 中。温度高于 85°C 时允许进行故障记录，但不保证 10 年的保存期限。当芯片温度超过 130°C 时，故障记录会延迟到芯片温度降至 125°C 以下。故障日志数据保留在 NVM 中，直到发出

MFR_FAULT_LOG_CLEAR 命令。发出此命令会重新使能故障日志功能。重新使能故障日志之前，须确保没有故障并且已发出 CLEAR_FAULTS 命令。

当 AST4700I 上电或退出复位状态时，它会检查 NVM 中是否有有效故障日志。如果 NVM 中存在有效故障日志，则会设置 STATUS_MFR_SPECIFIC 命令中的“有效故障日志”位，并产生 ALERT 事件。此外，故障记录将被阻止，直至 AST4700I 收到 MFR_FAULT_LOG_CLEAR 命令，然后才会重新使能故障记录。

如有任何故障导致任一通道上的控制器禁用，该信息将存储在 EEPROM 中。外部拉低的 FAULTn 不会触发故障记录事件。

PMBus 命令汇总

PMBus 命令

表 5 列出了支持的 PMBus 命令和制造商特定命令，以及例外情况或制造商特定的一些实现方法。“默认值”栏中列出的浮点值是适用于相关命令的线性 16 位带符号格或 Linear_5s_11 格式。制造商隐式保留表 5 中未列出的从 0xD0 到 0xFF 的所有命令。用户应避免在此命令范围内盲目写入，以免对器件进行不希望的操作。制造商隐式不支持表 5 中未列出的从 0x00 到 0xCF 的所有命令。尝试访问不受支持或保留的命令可能会导致 CML

命令故障事件。所有输出电压设置和测量均基于 VOUT_MODE 设置 0x14，相当于指数 2-12。

如果接收 PMBus 命令的速度快于处理速度，该器件可能因为太忙而无法处理新命令。在此类情况下，表明其正处于繁忙状态。该器件包含握手功能，可消除繁忙错误并简化错误处理软件，同时确保通信和系统行为稳健。

表 5. PMBus 命令汇总 (注：数据格式缩写详见表 6)

命令名称	CMD 代码	说明	类型	分页	数据格式	单位	NVM	默认值
PAGE	0x00	提供与多页 PMBus 器件的集成。	R/W 字节	否	Reg			0x00
OPERATION	0x01	工作模式控制。开/关，裕量高和裕量低。	R/W 字节	是	Reg		是	0x80
ON_OFF_CONFIG	0x02	RUN 引脚和 PMBus 总线开/关命令配置。	R/W 字节	是	Reg		是	0x1E
CLEAR_FAULTS	0x03	清除任何已设置的故障位。	发送字节	否				NA
PAGE_PLUS_WRITE	0x05	将命令直接写入指定页。	W 块	否				
PAGE_PLUS_READ	0x06	直接从指定页读取命令。	块 R/W	否				
WRITE_PROTECT	0x10	器件提供的防止意外更改的保护级别。	R/W 字节	否	Reg		是	0x00
STORE_USER_ALL	0x15	将用户工作存储器内容存储到 EEPROM。	发送字节	否				NA
RESTORE_USER_ALL	0x16	从 EEPROM 恢复用户工作存储器内容。	发送字节	否				NA
CAPABILITY	0x19	该器件支持的 PMBus 可选通信协议汇总。	R 字节	否	Reg			0xB0
SMBALERT_MASK	0x1B	屏蔽 ALERT 活动	块 R/W	是	Reg		是	
VOUT_MODE	0x20	输出电压格式和指数 (2 ⁻¹²)。	R 字节	是	Reg			2 ⁻¹² 0x14
VOUT_COMMAND	0x21	标称输出电压设定点。	R/W 字	是	L16	V	是	1.0 0x1000
VOUT_MAX	0x24	指令输出电压的上限，包括 VOUT_MARGIN_HI。	R/W 字	是	L16	V	是	2.75 0x2C00
VOUT_MARGIN_HIGH	0x25	裕量高输出电压设定点。必须大于 VOUT_COMMAND。	R/W 字	是	L16	V	是	1.05 0x10CD

表 5. PMBus 命令汇总 (注: 数据格式缩写详见表 6)

命令名称	CMD 代码	说明	类型	分页	数据格式	单位	NVM	默认值
VOUT_MARGIN_LOW	0x26	裕量低输出电压设定点。必须小于 VOUT_COMMAND。	R/W 字	是	L16	V	是	0.95 0x0F33
VOUT_TRANSITION_RATE	0x27	当指令 V _{OUT} 变为新值时, 输出的变化速率。	R/W 字	是	L11	V/ms	是	0.25 0xAA00
FREQUENCY_SWITCH	0x33	控制器的开关频率。	R/W 字	否	L11	kHz	是	425k 0Xfb52
VIN_ON	0x35	器件应开始电源转换的输入电压。	R/W 字	否	L11	V	是	4.75 0xCA60
VIN_OFF	0x36	器件应停止电源转换的输入电压。	R/W 字	否	L11	V	是	4.5 0xCA40
VOUT_OV_FAULT_LIMIT	0x40	输出过压故障限值。	R/W 字	是	L16	V	是	1.1 0x119A
VOUT_OV_FAULT_RESPONSE	0x41	检测到输出过压故障时器件应采取的措施。	R/W 字节	是	Reg		是	0xB8
VOUT_OV_WARN_LIMIT	0x42	输出过压警告限值。	R/W 字	是	L16	V	是	1.075 0x1133
VOUT_UV_WARN_LIMIT	0x43	输出欠压警告限值。	R/W 字	是	L16	V	是	0.925 0x0ECD
VOUT_UV_FAULT_LIMIT	0x44	输出欠压故障限值。	R/W 字	是	L16	V	是	0.9 0x0E66
VOUT_UV_FAULT_RESPONSE	0x45	检测到输出欠压故障时器件应采取的措施。	R/W 字节	是	Reg		是	0xB8
IOUT_OC_FAULT_LIMIT	0x46	输出过流故障限值。	R/W 字	是	L11	A	是	65 0xEA08
IOUT_OC_FAULT_RESPONSE	0x47	检测到输出过流故障时器件应采取的措施。	R/W 字节	是	Reg		是	0x00
IOUT_OC_WARN_LIMIT	0x4A	输出过流警告限值。	R/W 字	是	L11	A	是	55.0 0xE370
OT_FAULT_LIMIT	0x4F	外部过温故障限值。	R/W 字	是	L11	C	是	100 0XEB20
OT_FAULT_RESPONSE	0x50	检测到外部过温故障时器件应采取的措施,	R/W 字节	是	Reg		是	0xB8
OT_WARN_LIMIT	0x51	外部过温警告限值。	R/W 字	是	L11	C	是	85.0 0xEAA8
UT_FAULT_LIMIT	0x53	外部欠温故障限值。	R/W 字	是	L11	C	是	-40 0xE580
UT_FAULT_RESPONSE	0x54	检测到外部欠温故障时器件应采取的措施。	R/W 字节	是	Reg		是	0xB8
VIN_OV_FAULT_LIMIT	0x55	输入电源过压故障限值。	R/W 字	否	L11	V	是	15.5 0xD3E0
VIN_OV_FAULT_RESPONSE	0x56	检测到输入过压故障时器件应采取的措施。	R/W 字节	是	Reg		是	0x80
VIN_UV_WARN_LIMIT	0x58	输入电源欠压警告限值。	R/W 字	否	L11	V	是	4.65 0xCA53
IIN_OC_WARN_LIMIT	0x5D	输入电源过流警告限值。	R/W 字	否	L11	A	是	20.0 0xDA80

表 5. PMBus 命令汇总 (注: 数据格式缩写详见表 6)

命令名称	CMD 代码	说明	类型	分页	数据格式	单位	NVM	默认值
TON_DELAY	0x60	从 RUN 和/或 Operation 开启到输出轨开启的时间。	R/W 字	是	L11	ms	是	0.0 0x8000
TON_RISE	0x61	从输出开始上升到输出电压达到 V_{OUT} 指令值的时间。	R/W 字	是	L11	ms	是	8.0 0xD200
TON_MAX_FAULT_LIMIT	0x62	从 VO_{UT} 的 TON_RISE 开始到跨过 $VO_{UT_UV_FAULT_LIMIT}$ 的最长时间。	R/W 字	是	L11	ms	是	10.00 0xD280
TON_MAX_FAULT_RESPONSE	0x63	检测到 TON_MAX_FAULT 事件时器件应采取的措施。	R/W 字节	是	Reg		是	0xB8
TOFF_DELAY	0x64	从 RUN 和/或 Operation 关断到 TOFF_FALL 斜坡开始的时间。	R/W 字	是	L11	ms	是	0.0 0x8000
TOFF_FALL	0x65	从输出开始下降到输出达到零伏的时间。	R/W 字	是	L11	ms	是	8.00 0xD200
TOFF_MAX_WARN_LIMIT	0x66	TOFF_FALL 完成后器件衰减至 12.5% 以下的最长允许时间。	R/W 字	是	L11	ms	是	150.0 0xF258
STATUS_BYTE	0x78	器件故障情况的单字节摘要。	R/W 字节	是	Reg			NA
STATUS_WORD	0x79	器件故障情况的双字节摘要。	R/W 字	是	Reg			NA
STATUS_VOUT	0x7A	输出电压故障和警告状态。	R/W 字节	是	Reg			NA
STATUS_IOUT	0x7B	输出电流故障和警告状态。	R/W 字节	是	Reg			NA
STATUS_INPUT	0x7C	输入电源故障和警告状态。	R/W 字节	否	Reg			NA
STATUS_TEMPERATURE	0x7D	READ_TEMPERATURE_1 的外部温度故障和警告状态。	R/W 字节	是	Reg			NA
STATUS_CML	0x7E	通信和存储器故障与警告状态。	R/W 字节	否	Reg			NA
STATUS_MFR_SPECIFIC	0x80	制造商特定的故障和状态信息。	R/W 字节	是	Reg			NA
READ_VIN	0x88	实测输入电源电压。	R 字	否	L11	V		NA
READ_IIN	0x89	实测输入电源电流。	R 字	否	L11	A		NA
READ_VOUT	0x8B	实测输出电压。	R 字	是	L16	V		NA
READ_IOUT	0x8C	实测输出电流。	R 字	是	L11	A		NA
READ_TEMPERATURE_1	0x8D	外部温度传感器温度。这是用于所有温度相关处理的值, 包括 IOUT_CAL_GAIN。	R 字	是	L11	C		NA
READ_TEMPERATURE_2	0x8E	内部芯片结温。不影响任何其他命令。	R 字	否	L11	C		NA
READ_FREQUENCY	0x95	实测 PWM 开关频率。	R 字	是	L11	Hz		NA
READ_POUT	0x96	实测输出功率	R 字	是	L11	W		N/A
READ_PIN	0x97	计算输入功率	R 字	是	L11	W		N/A
PMBus_REVISION	0x98	此器件支持的 PMBus 修订版。当前修订版为 1.2。	R 字节	否	Reg			0x22

表 5. PMBus 命令汇总 (注: 数据格式缩写详见表 6)

命令名称	CMD 代码	说明	类型	分页	数据格式	单位	NVM	默认值
MFR_VOUT_MAX	0xA5	最大允许输出电压, 包括 VOUT_OV_FAULT_LIMIT。	R 字	是	L16	V		2.75 0x2C00
MFR_PIN_ACCURACY	0xAC	返回 READ_PIN 命令的精度	R 字节	否		%		5.0%
USER_DATA_00	0xB0	OEM 保留。通常用于器件序列化。	R/W 字	否	Reg		是	NA
USER_DATA_01	0xB1	制造商保留。	R/W 字	是	Reg		是	NA
USER_DATA_02	0xB2	OEM 保留。通常用于器件序列化	R/W 字	否	Reg		是	NA
USER_DATA_03	0xB3	可供用户使用的 NVM 字。	R/W 字	是	Reg		是	0x0000
USER_DATA_04	0xB4	可供用户使用的 NVM 字。	R/W 字	否	Reg		是	0x0000
MFR_EE_UNLOCK	0xBD	联系工厂。	R/W 字节	否	Reg			NA
MFR_EE_ERASE	0xBE	联系工厂。	R/W 字节	否	Reg			NA
MFR_EE_DATA	0xBF	联系工厂。	R/W 字节	否	Reg			NA
MFR_CHAN_CONFIG	0xD0	通道特定的配置位。	R/W 字节	是	Reg		是	0x1D
MFR_CONFIG_ALL	0xD1	通用配置位。	R/W 字节	否	Reg		是	0x21
MFR_FAULT_PROPAGATE	0xD2	决定哪些故障传播到 FAULT 引脚的配置。	R/W 字	是	Reg		是	0x6993
MFR_PWM_COMP	0xD3	PWM 环路补偿配置	R/W 字节	是	Reg		是	0x5B
MFR_PWM_MODE	0xD4	PWM 引擎的配置。	R/W 字节	是	Reg		是	0xC7
MFR_FAULT_RESPONSE	0xD5	当从外部将 FAULT 引脚置为低电平时, 器件应采取的措施。	R/W 字节	是	Reg		是	0xC0
MFR_OT_FAULT_RESPONSE	0xD6	检测到内部过温故障时器件应采取的措施。	R 字节	否	Reg			0xC0
MFR_IOUT_PEAK	0xD7	报告自上次 MFR_CLEAR_PEAKS 以来 READ_IOUT 的最大实测值。	R 字	是	L11	A		NA
MFR_ADC_CONTROL	0xD8	选择用于重复快速 ADC 回读的 ADC 遥测参数	R/W 字节	否	Reg			0x00
MFR_RETRY_DELAY	0xDB	在 FAULT 重试模式期间的重试间隔。	R/W 字	是	L11	ms	是	350.0 0xFABC
MFR_RESTART_DELAY	0xDC	AST4700I 将 RUN 引脚保持低电平的最短时间。	R/W 字	是	L11	ms	是	500.0 0xFBE8
MFR_VOUT_PEAK	0xDD	自上次 MFR_CLEAR_PEAKS 以来 READ_VOUT 的最大实测值。	R 字	是	L16	V		NA
MFR_VIN_PEAK	0xDE	自上次 MFR_CLEAR_PEAKS 以来 READ_VIN 的最大实测值。	R 字	否	L11	V		NA
MFR_TEMPERATURE_1_PEAK	0xDF	自上次 MFR_CLEAR_PEAKS 以来外部温度的最大实测值 (READ_TEMPERATURE_1)。	R 字	是	L11	C		NA
MFR_READ_IIN_PEAK	0xE1	自上次 MFR_CLEAR_PEAKS 以来 READ_IIN 命令的最大实测值	R 字	否	L11	A		NA

表 5. PMBus 命令汇总 (注: 数据格式缩写详见表 6)

命令名称	CMD 代码	说明	类型	分页	数据格式	单位	NVM	默认值
MFR_CLEAR_PEAKS	0xE3	清除所有峰值。	发送字节	否				NA
MFR_READ_ICHIP	0xE4	SV _{IN} 引脚的实测电源电流	R 字	否	L11	A		NA
MFR_PADS	0xE5	I/O 焊盘的数字状态。	R 字	否	Reg			NA
MFR_ADDRESS	0xE6	设置 7 位 I ² C 地址字节。	R/W 字节	否	Reg		是	0x4F
MFR_IIN_CAL_GAIN	0xE8	输入电流检测元件的电阻值, 单位为 mΩ。	R/W 字	否	L11	mΩ	是	1.0 0xBA00
MFR_FAULT_LOG_STORE	0xEA	指令将故障日志从 RAM 传输到 EEPROM。	发送字节	否				NA
MFR_INFO	0x	联系工厂。						
MFR_IOUT_CAL_GAIN	0x	工厂设置						
MFR_FAULT_LOG_CLEAR	0xEC	初始化保留用于故障记录的 EEPROM 块。	发送字节	否				NA
MFR_FAULT_LOG	0xEE	故障日志数据字节。	R 块	否	Reg		是	NA
MFR_COMMON	0xEF	多种芯片通用的制造商状态位。	R 字节	否	Reg			NA
MFR_COMPARE_USER_ALL	0xF0	将当前命令内容与 NVM 进行比较。	发送字节	否				NA
MFR_TEMPERATURE_2_PEAK	0xF4	自上次 MFR_CLEAR_PEAKS 以来的内部芯片温度峰值。	R 字	否	L11	C		NA
MFR_PWM_CONFIG	0xF5	设置 DC/DC 控制器的许多参数, 包括相位。	R/W 字节	否	Reg		是	0x10
MFR_IOUT_CAL_GAIN_TC	0xF6	电流检测元件的温度系数。	R/W 字	是	CF	ppm/°C	是	3900 0x0F3C
MFR_RVIN	0xF7	V _{IN} 引脚滤波元件的电阻值, 单位为 mΩ。	R/W 字	否	L11	mΩ	是	1000 0x03E8
MFR_TEMP_1_GAIN	0xF8	设置外部温度传感器的斜率。	R/W 字	是	CF		是	0.995 0x3FAE
MFR_TEMP_1_OFFSET	0xF9	设置外部温度传感器相对于 -273.1°C 的偏移	R/W 字	是	L11	C	是	0.0 0x8000
MFR_RAIL_ADDRESS	0xFA	多相输出的公共地址, 用于调整公共参数。	R/W 字节	是	Reg		是	0x80
MFR_REAL_TIME	0xFB	48 位共享时钟计数器值。	R 块	否	CF			NA
MFR_RESET	0xFD	无需关断的指令复位。	发送字节	否				NA

注释 1: NVM 栏中为“是”的命令表示这些命令分别使用 STORE_USER_ALL 和 RESTORE_USER_ALL 命令存储和恢复。

注释 2: 默认值为 NA 的命令表示“不适用”。默认值为 FS 的命令表示“在工厂逐个器件设置”。

注释 3: AST4700I 包含表 5 中未列出的其他命令。读取这些命令对 IC 的操作无害, 但这些命令的内容和含义可能不知不觉地改变。

注释 4: 一些未公布的命令是只读命令, 如果写入, 会产生 CML 位 6 故障。

注释 5: 不允许写入表 5 中未公布的命令。

注释 6: 用户不应基于命令名称而认为不同器件之间的命令兼容。有关命令功能的完整定义, 务必参阅每种器件的制造商数据手册。

表 6. 数据格式缩写

L11	Linear_5s_11s	<p>PMBus 数据字段 b[15:0]</p> <p>值 = $Y \cdot 2^N$</p> <p>其中, N = b[15:11] 是 5 位二进制补码整数, Y = b[10:0] 是 11 位二进制补码整数示例:</p> <p>对于 b[15:0] = 0x9807 = 'b10011_000_0000_0111</p> <p>值 = $7 \cdot 2^{-13} = 854 \cdot 10^{-6}$</p> <p>来自“PMBus 规范第二部分: 第 7.1 节”</p>
L16	Linear_16u	<p>PMBus 数据字段 b[15:0]</p> <p>值 = $Y \cdot 2^N$</p> <p>其中, Y = b[15:0] 是无符号整数, N = VOUT_MODE_PARAMETER 是 5 位二进制补码指数, 硬连线为 -12 (十进制)</p> <p>示例:</p> <p>对于 b[15:0] = 0x9800 = 'b1001_1000_0000_0000</p> <p>值 = $19456 \cdot 2^{-12} = 4.75$ 来自“PMBus 规范第二部分: 第 8.2 节”</p>
Reg	寄存器	<p>PMBus 数据字段 b[15:0] 或 b[7:0]。</p> <p>位字段的意义在 PMBus 命令详解中定义。</p>
L16	整数字	<p>PMBus 数据字段 b[15:0]</p> <p>值 = Y</p> <p>其中 Y = b[15:0] 是 16 位无符号整数示例:</p> <p>对于 b[15:0] = 0x9807 = 'b1001_1000_0000_0111</p> <p>值 = 38919 (十进制)</p>
CF	定制格式	<p>值在 PMBus 命令详解中定义。</p> <p>这通常是由 MFR 特定常数缩放的无符号或二进制补码整数。</p>
ASC	ASCII 格式	<p>符合 ISO/IEC 8859-1 标准的可变长度文本字符串。</p>

应用信息

V_{IN} 到 V_{OUT} 降压比

对于给定输入电压，可以实现的最大 V_{IN} 与 V_{OUT} 降压比是有限制的。AST4700I 的每路输出在 500kHz 时支持 95% 的占空比，但 V_{IN} 至 V_{OUT} 的最小压差仍与其负载电流有关，并会限制与顶端开关高占空比相关的输出电流能力。最小导通时间 t_{ON(MIN)} 是在特定频率下以指定占空比工作时需考虑的另一个因素，因为 t_{ON(MIN)} < D/f_{sw}，其中 D 为占空比，f_{sw} 为开关频率。电气参数中将 t_{ON(MIN)} 规定为 60ns。

输入电容

AST4700I 模块应连接到低交流阻抗直流电源。稳压器输入使用四个 22μF 输入陶瓷电容来处理每个通道的 RMS 纹波电流。要增加输入体电容，可以使用 47μF 至 100μF 表面贴装铝电解电容。只有当输入源阻抗受到长感性引线、走线影响或源电容不足时，才需要此体输入电容。如果使用低阻抗电源层，则不需要该体电容。对于降压转换器，开关占空比可估算为：

$$D_n = \frac{V_{OUTn}}{V_{INn}}$$

在不考虑电感电流纹波的情况下，对于每路输出，输入电容的 RMS 电流可估算为：

$$I_{CINn(RMS)} = \frac{I_{OUTn(MAX)}}{\eta\%} \cdot \sqrt{D_n \cdot (1 - D_n)}$$

在上式中，η% 为电源模块的估计效率。体电容可以是适合开关稳压器使用的铝电解电容或聚合物电容。

输出电容

AST4700I 设计提供低输出电压纹波噪声和良好的瞬态响应。所选体输出电容 C_{OUT} 的有效串联电阻 (ESR) 应足够低，以满足输出电压纹波和瞬态响应要求。C_{OUT} 可以是低 ESR 钽电容、低 ESR 聚合物电容或陶瓷电容。每路输出的典型输出电容范围为 400μF 至 1000μF。如果需要进一步降低输出纹波或动态瞬态尖峰，系统设计人员可能需要使用额外的输出

滤波。多相操作会根据相数降低有效输出纹波。可以将一个小值 10Ω 电阻从 V_{OUTn} 串联到 V_{OSNSn+} 引脚，以便波特图分析仪能将信号注入控制环路并验证稳压器的稳定性。AST4700I 的稳定性补偿可以利用两个外部电容和 MFR_PWM_COMP 命令来调整。

轻负载电流操作

AST4700I 有两种工作模式：高效率断续导通模式或强制连续导通模式。工作模式由 MFR_PWM_MODEn 命令的位 0 来配置 (启动模式始终是断续导通，强制连续是默认运行模式)。

如果通道使能断续工作模式，则不允许电感电流反向。反向电流比较器 I_{REV} 在电感电流就要达到零之前关闭底部 MOSFET，防止其反向并变为负值。因此，控制器可以在断续 (跳脉冲) 模式下工作。强制连续工作模式允许电感电流在轻负载或大瞬态状况下反向。峰值电感电流仅由 COMPnb 引脚上的电压决定。在该模式下，轻负载时的效率低于断续工作模式下的效率。但是，连续模式下输出纹波较低，对音频电路的干扰较少。强制连续导通模式可能引起反向电感电流，导致输入电源升压。VIN_OV_FAULT_LIMIT 可以检测到这种情况 (如果 SV_{IN} 连接到 V_{IN0} 和/或 V_{IN1}) 并关闭有问题的通道。然而，此故障是基于 ADC 读操作，标称需要 100ms 时间才能检测到。如果担心输入电源升压，应使器件保持断续导通工作模式。

开关频率和相位

AST4700I 通道的开关频率由其模拟锁相环 (PLL) 锁定模块 SYNC 引脚上的时钟而建立。当提供一个接 3.3V 电压 (例如 V_{DD33}) 的外部上拉电阻，并且 AST4700I 控制 IC 的 FREQUENCY_SWITCH 命令设置为以下支持值——250kHz、350kHz、425kHz、500kHz、575kHz、650kHz、750kHz——之一时，SYNC 上的时钟波形可以通过 AST4700I 的内部电路产生。在此配置中，该模块称为“同步主机”：(使用出厂默认设置 MFR_CONFIG_ALL[4] = 0b)，SYNC 变为双向开漏引脚，AST4700I 以规定的

时钟速率 将 SYNC 逻辑拉低，拉低一次的标称值为 500ns。SYNC 信号可以通过总线连接到其他 AST4700I 模块 (配置为“同步从机”)，以便同步 系统中多个模块的开关频率，但只应将一个 AST4700I 配置为“同步主机”，其他 AST4700I 应配置为“同步从机”。

最直接的方法是将其 FREQUENCY_SWITCH 命令设置为 0x0000，并将 MFR_CONFIG_ALL [4] 设置为 1b。这可以通过 FSWPH_CFG 引脚上的电阻引脚绑定设置轻松实现 (参见表 2)。使用 MFR_CONFIG_ALL[4] = 1b，AST4700I 的 SYNC 引脚变为高阻抗输入，即它不会将 SYNC 驱动到低电平。该模块将其频率与施加于 SYNC 引脚的时钟频率同步。这种方法的唯一缺点是： 在外部没有施加时钟的情况下，模块的开关频率 将默认为其频率同步捕获范围的下限 (~225kHz)。

如果需要对外部施加的 SYNC 时钟丢失的容错性，则“同步从机”的 FREQUENCY_SWITCH 命令可以保持在应用的标称目标开关频率，而不是 0x0000。但是， 仍然需要配置 MFR_CONFIG_ALL[4] = 1b。通过这种配置组合，AST4700I 的 SYNC 引脚变为高阻抗输入，模块将其频率与外 部施加的时钟频率同步，前提是外部施加的时钟 频率超过目标频率 (FREQUENCY_SWITCH) 的 $\sim\frac{1}{2}$ 。如果 SYNC 时钟不存在，模块将无限 期以其目标频率工作来响应。如果 SYNC 时钟 恢复，模块会如常自动锁相到 SYNC 时钟。这 种方法的唯一缺点是： 必须按照上述指导配置 EEPROM；仅 FSWPH_CFG 引脚上的电阻引脚 绑定选项无法为缺少 SYNC 时钟提供容错功能。FREQUENCY_SWITCH 寄存器可以通过 I²C 命令更改，但只能在开关动作停用时，即模块的输出关闭时。FREQUENCY_SWITCH 命令使用 SVIN 上电时存储在 NVM 中的值，但如果模块配置为使用电阻引脚绑定设置 (MFR_CONFIG_ALL[6] = 0b)，则上述值会被 FSWPH_CFG 引脚与 SGND 之间施加的电阻 引脚绑定设置覆盖。表 2 列出了可用的电阻引脚绑定和相应的 FREQUENCY_SWITCH 设置。

多相轨中所有活动通道的相对相位应该进行优化。每个轨道的相对相位为 $360^\circ n$ ，其中 n 为 多相轨中的相数。MFR_PWM_CONFIG[2:0] 配置通道相对于 SYNC 引脚的相对相位。相位关系值为 0° 时表示 SYNC 的下降沿与顶部 MOSFET MTn 的导通重合。

MFR_PWM_CONFIG 命令可以通过 I²C 命令更改，但只能在开关动作停用时，即模块的输出关闭时。MFR_PWM_CONFIG 命令使用 SVIN 上电时存储在 NVM 中的值，但如果模块配置为使用电阻引脚绑定设置 (MFR_CONFIG_ALL [6] = 0b)，则上述值会被 FSWPH_CFG 引脚与 SGND 之间施加的电阻引脚绑定设置覆盖。表 3 列出了可用的电阻引脚绑定和相应的 MFR_PWM_CONFIG [2:0] 设置。

FREQUENCY_SWITCH 和 MFR_PWM_CONFIG [2:0] 的某些组合不能通过电阻引脚绑定 FSWPH_CFG 引脚来实现。FREQUENCY_SWITCH 和 MFR_PWM_CONFIG[2:0] 支持的所有组合可以通过 NVM 编程或 I²C 处理来配置，前提是开关动作已停用，即模块的输出关闭。

务必尽量减小 SYNC 上的电容，确保上拉电阻与电容负载为应用提供一个足够低的时间常数以形成“干净”时钟。

当 AST4700I 配置为同步从机时，允许外部电路从限流源 (小于 10mA) 驱动 SYNC 引脚，而不是使用上拉电阻。SVIN 上电时，任何外部电路都不得将任意低阻抗驱动到高电平，因为在 NVM 内容下载到 RAM 之前，SYNC 输出可能是低阻抗。

对于许多常见的 V_{IN} 至 V_{OUT} 应用，推荐的 AST4700I 开关频率如下表所示。当 AST4700I 的两个通道将输入电压阶跃降低至输出电压时，若其推荐的开关频率明显不同，应优先使用两个推荐开关频率中的较高者工作，但必须考虑最小导通时间。

表 7. 不同 V_{IN} 到 V_{OUT} 降压方案推荐开关频率

	$5V_{IN}$	$8V_{IN}$	$12V_{IN}$
$0.9V_{OUT}$	350kHz 至 425kHz		
$1.0V_{OUT}$			
$1.2V_{OUT}$			
$1.5V_{OUT}$	500kHz 至 650kHz		
$1.8V_{OUT}$			

输出电流限值编程

逐周期限电流限值 ($= V_{ISENSE}/DCR$) 与 $COMP_{nb}$ 电压限值成比例, 后者可使用 $PMBus$ 命令 $IOUT_OC_FAULT_LIMIT$ 设置, 范围是 1.45V 至 2.2V。AST4700I 仅使用亚毫欧检测方法检测电流水平。AST4700I 具有两个电流限值编程范围。MFR_PWM_MODE[2] 的值保留, MFR_PWM_MODE[7] 和 $IOUT_OC_FAULT_LIMIT$ 用于设置限流水平; 正常工作时, 该器件可以在低于 $IOUT_OC_FAULT_LIMIT$ 值的峰值电流下调节输出电压。如果输出电流超过该电流限值, 就会发生 OC 故障。每个 $IOUT_OC_FAULT_LIMIT$ 范围都会影响环路增益, 因而也会影响环路稳定性, 故设置限流范围是环路设计的一部分。

当电感温度改变时, AST4700I 会自动更新电流限值。请注意, 此操作是逐周期进行的, 并且仅与峰值电感电流有关。平均电感电流由 ADC 转换器监视, 如果检测到平均输出电流过大, 可以发出警告。当 $COMP_{nb}$ 电压达到最大值时, 即检测到过流故障。AST4700I 中的数字处理器可以忽略故障, 关断并闭锁, 或者关断并无限期重试 (打嗝)。有关更多信息, 请参阅“操作”部分的过流小节。 $Read_POUT$ 可用来回读计算出的输出功率。

最小导通时间考虑

最小导通时间 $t_{ON(MIN)}$ 是 AST4700I 能够导通顶部 MOSFET 的最小持续时间。它由内部时序延迟和导通顶部 MOSFET 所需的栅极电荷决定。低占空比应用可能接近此最小导通时间限制, 应采取措施确保:

$$t_{ON(MIN)} < \frac{V_{OUTn}}{V_{INn} * f_{sw}}$$

如果占空比低于最小导通时间支持的值, 控制器将开始跳过一些周期。输出电压将继续

受到调节, 但纹波电压和电流将增加。AST4700I 的最小导通时间为 60ns。

可变延迟时间、软启动和输出电压斜坡

软启动之前, AST4700I 必须进入运行状态。器件完成初始化, 并且 SV_{IN} 大于 V_{IN_ON} 阈值之后, 就会释放 $RUNn$ 引脚。如果应用中使用多个 AST4700I, 应将其配置为共用同一 $RUNn$ 引脚, 各自的 $RUNn$ 引脚都保持低电平, 直到所有器件都完成初始化, 并且 SV_{IN} 超过所有器件的 V_{IN_ON} 阈值。SHARE_CLK 引脚确保所有连接到该信号的器件使用相同的时基。

$RUNn$ 引脚释放后, 控制器等待用户指定的开启延迟时间 (TON_DELAYn), 然后启动输出电压斜坡。多个 AST4700I 和其他器件可以配置为以不同延迟时间启动。为了正常运行, 所有器件都使用相同的时钟 (SHARE_CLK), 并且所有器件必须共用 $RUNn$ 引脚。

这样, 所有器件的相对延迟可以同步。延迟的实际变化取决于连接到 SHARE_CLK 引脚的器件的最高时钟速率。SHARE_CLK 信号的频率范围是 $\pm 10\%$, 故实际的时间延迟会有一些差异。软启动过程会主动调节负载电压, 同时将目标电压从 0V 数字式斜升至指令电压设定点。电压斜坡的上升时间可以使用 TON_RISEn 命令进行编程, 以最大限度减少与启动电压斜坡相关的浪涌电流。 TON_RISEn 设置为小于 0.250ms 的任何值时会禁用软启动功能。AST4700I 在内部执行必要的数学运算, 以确保将电压斜坡控制在所需的斜率。但是, 电压斜率不能快于功率级的 V_{OUTn} 基本限值。斜坡中 $t_{ON(MIN)} <$ 步数的数量等于 $TON_RISE/0.1ms$ 。因此, TON_RISEn 时间设置越短, 软启动斜坡中出现的离散步数就越多。

AST4700I PWM 在 TON_RISEn 操作期间始终以断续模式工作。在断续模式下, 一旦在电感中检测到反向电流, 就会断开底部 MOSFET (MBn)。这样, 稳压器启动后将接入预偏置负载。AST4700I 没有模拟跟踪功能; 但是, 可以为两路输出指定相同的 TON_RISEn 和 TON_DELAYn 时间, 以实现比率轨跟踪。

RUN_n 引脚同时释放，并且两个单元使用相同的时基 (SHARE_CLK)，因此输出跟踪得非常密切。如果电路处于多相配置，则所有时序参数必须相同。

数字伺服模式

为使稳压输出电压的精度最大，应置位 MFR_PWM_MODE 命令的第 6 位来使能数字伺服环路。在数字伺服模式下，AST4700I 根据 ADC 电压读数调整稳压输出电压。每 90ms，数字伺服环路将以 DAC 的 LSB (标称值为 1.375mV 或 0.6875mV，具体取决于电压范围位) 步进，直到输出处于正确的 ADC 读数。上电时，此模式在 TON_MAX_FAULT_LIMIT 之后启用，除非该限值设置为 0 (无限)。如果 TON_MAX_FAULT_LIMIT 设置为 0 (无限)，则在 TON_RISE 完成且 V_{OUT} 超过 V_{OUT_UV_FAULT_LIMIT} 之后伺服开始。

在该同一时间点，输出从断续模式变为 MFR_PWM_MODE 位 0 指示的模式。有关基于时间的定序方案下的 V_{OUT} 波形的详细信息，请参见图 3。如果 TON_MAX_FAULT_LIMIT 设置为大于 0 的值，并且 TON_MAX_FAULT_RESPONSE 设置为忽略 0x00，则伺服在以下事件后开始：

1. TON_RISE 序列完成
2. 达到 TON_MAX_FAULT_LIMIT 时间；以及
3. 已超过 V_{OUT_UV_FAULT_LIMIT} 或 IOUT_OC_FAULT_LIMIT 不再有效。

如果 TON_MAX_FAULT_LIMIT 设置为大于 0 的值，并且 TON_MAX_FAULT_RESPONSE 未设置为忽略 0x00，则伺服在以下事件后开始：

1. TON_RISE 序列完成
2. TON_MAX_FAULT_LIMIT 时间已到期，并且 V_{OUT_UV_FAULT} 和 IOUT_OC_FAULT 均不存在。

最大上升时间以 1.3 秒为限。

在多相配置中，建议仅使能其中一个控制环路的数字伺服模式。这将能确保不同环路不会因为参考电路的微小差异而相互阻挠。

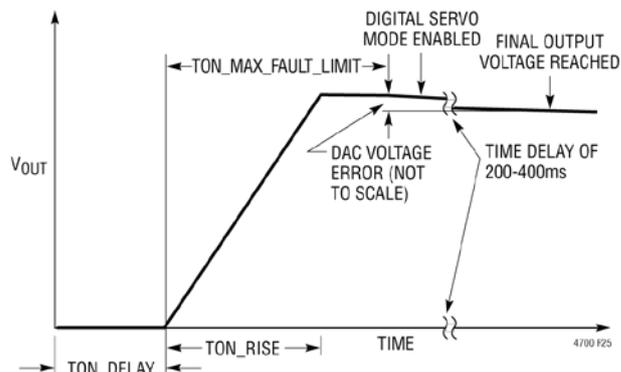


图 3. 时序控制的 V_{OUT} 上升

软关断 (时序控制关断)

除受控启动外，AST4700I 还支持受控关断。当 RUN 引脚变为低电平或指令器件关断时，处理 TOFF_FALL。如果器件因故障而关断，或者外部拉低 FAULT_n 并且器件被编程为要响应此状况，则输出将变为三态，而非呈现受控斜坡。输出将作为负载的函数而衰减。只要器件处于强制连续模式，并且 TOFF_FALL 时间足够慢，使得功率级可以实现所需的斜率，那么输出电压将如图 4 所示工作。只有当功率级和控制器能够吸收足够的电流以确保在下降时间间隔结束时输出为零伏，才能满足 TOFF_FALL 时间。如果 TOFF_FALL 时间设置得比负载电容放电所需的时间短，则输出将不会达到期望的零伏状态。在 TOFF_FALL 结束时，控制器将停止吸收电流，V_{OUT} 将以负载阻抗确定的自然速率衰减。如果控制器处于断续模式，控制器将不会拉负电流，输出将被负载 (而非功率级) 拉低。最大下降时间以 1.3 秒为限。设置的 TOFF_FALL 时间越短，TOFF_FALL 斜坡中的离散步进就越大。斜坡中的步数等于 TOFF_FALL/0.1ms。

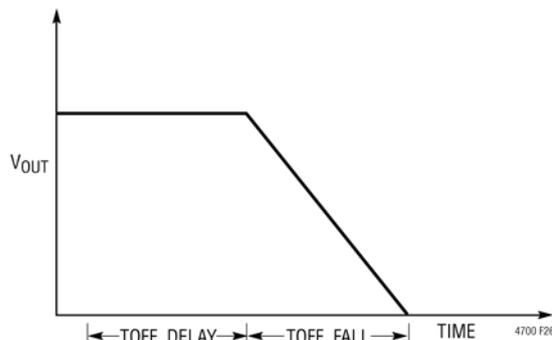


图 4. TOFF_DELAY 和 TOFF_FALL

欠压闭锁

AST4700I 由基于内部阈值的 UVLO 初始化，其中 V_{IN} 必须为 4V 左右， $INTV_{CC}$ 、 V_{DD33} 和 V_{DD25} 必须在稳压值的约 20% 范围内。此外，在释放 RUN 引脚之前， V_{DD33} 必须在目标值的大约 7% 范围内。器件初始化后，附加比较器监视 V_{IN} 。首先必须超过 V_{IN_ON} 阈值，然后电源定序才会开始。当 V_{IN} 降至 V_{IN_OFF} 阈值以下时，SHARE_CLK 引脚将被拉低， V_{IN} 必须增加到高于 V_{IN_ON} 阈值之后，控制器才会重新启动。跨过 V_{IN_ON} 阈值后，即允许执行正常的启动序列。当施加 V_{IN} 时，如果 FAULTB 保持低电平，那么即使器件被编程为在 FAULTB 保持低电平时不置位 ALERT，ALERT 也会被置为低电平。如果在 AST4700I 退出复位之前发生 I²C 通信，并且器件仅看到命令的一部分，那么这可能被解释为 CML 故障。如果检测到 CML 故障，ALERT 将被置为低电平。

如果外部将 V_{DD33} 电源直接驱动到 V_{DD33} ，那么在应用中可以对 NVM 的内容进行编程。这将激活 AST4700I 的数字部分，而不会启用高压部分。PMBus 通信在此电源配置中有效。如果 V_{IN} 尚未应用于 AST4700I，MFR_COMMON 中的位 3 (NVM 未初始化) 将被置为低电平。如果检测到这种情况，该器件将仅响应地址 5A 和 5B。要初始化器件，须发出如下一组命令：全局地址 0x5B 命令 0xBD 数据 0x2B，然后是全局地址 5B 命令 0xBD 和数据 0xC4。这样一来，器件就会响应正确的地址。根据需要配置器件，然后发出 STORE_USER_ALL。当施加 V_{IN} 时，必须发出 MFR_RESET 命令以允许 PWM 使能并读取有效的 ADC 转换结果。

故障检测和处理

AST4700I FAULT 引脚可配置为指示各种故障，包括 OV、UV、OC、OT、时序故障和峰值过流故障。此外，FAULT 引脚可以被外部源拉低，表明系统的其他部分出现故障。故障响应是可配置的，提供如下选项：

- 忽略
- 立即关断 – 闭锁

- 立即关断 – 以 MFR_RETRY_DELAY 指定的时间间隔无限期重试

OV 响应是自动的。如果检测到 OV 情况，TGn 会变为低电平，并且 BGn 置位。

AST4700I 具有故障记录功能。当发生故障导致器件关断时，故障记录可配置为自动存储数据。故障记录表的表头部分包含峰值。可以随时读取这些值。此数据对于排除故障很有用。

如果 AST4700I 内部温度超过 85°C，不建议写入 NVM (故障记录除外)。除非达到 3.3V 电源 UVLO 阈值，否则数据仍将保存在 RAM 中。如果芯片温度超过 130°C，所有 NVM 通信将被禁用，直到芯片温度降至 120°C 以下。

开漏引脚

AST4700I 具有以下开漏引脚：3.3V 引脚

1. FAULTn
2. SYNC
3. SHARE_CLK
4. PGOODn

5V 引脚 (5V 引脚拉至 3.3V 时可正常工作。)

1. RUNn
2. ALERT
3. SCL
4. SDA

所有上述引脚都有片内下拉晶体管，在 0.4V 下可吸收 3mA 电流。引脚上的低阈值为 0.8V；因此，3mA 电流的数字信号有足够的裕量。对于 3.3V 引脚，3mA 电流是 1.1k 电阻。除非存在与上拉电阻和接地寄生电容的 RC 时间常数相关的瞬态速度问题，一般建议使用 10k 或更大的电阻。

对于 SDA、SCL 和 SYNC 等高速信号，可能需要较低的电阻值。RC 时间常数应设置为所需上升时间的 1/3 至 1/5，以免产生时序问题。对于 100pF 负载和 400kHz PMBus 通信速率，上升时间必须小于 300ns。时间常数设置为上升时间的 1/3 时，SDA 和 SCL 引脚上的上拉电阻为：

$$R_{PULLUP} = \frac{t_{RISE}}{3 * 100pF} = 1k$$

最接近的 1% 电阻值为 1k。注意尽量减小 SDA 和 SCL 引脚上的寄生电容，以避免通信问题。为估算负载电容，须监控相关信号并测量该信号达到输出值的约 63% 所需的时间。这是一个一次性常数。SYNC 引脚有一个片内下拉晶体管，输出保持低电平的标称时间为 500ns。如果内部振荡器设置为 500kHz，负载为 100pF，并且需要 3x 时间常数，那么电阻计算如下：

$$R_{PULLUP} = \frac{2\mu s - 500ns}{3 * 100pF} = 5k$$

最接近的 1% 电阻为 4.99k。

如果发生时序错误，或者 SYNC 频率不如期望的那样快，则应监视波形，确定 RC 时间常数对于应用而言是否太长。如果可能，应降低寄生电容。如果不行，应充分降低上拉电阻以确保时序正确。SHARE_CLK 上拉电阻具有类似的等式，周期为 10μs，下拉时间为 1μs。RC 时间常数应当是约为 3μs 或更快。

锁相环和频率同步

AST4700I 具有锁相环 (PLL)，其由内部压控振荡器 (VCO) 和鉴相器组成。PLL 锁定 SYNC 引脚的下降沿。PWM 控制器和 SYNC 下降沿之间的相位关系由 MFR_PWM_CONFIG 命令的低 3 位控制。对于多相应用，建议所有相位均匀分布。这样，对于两相系统，信号应该 180° 异相，而四相系统应该间隔 90°。

鉴相器是边沿敏感的数字型器件，可在外部和内部振荡器之间提供一个已知相移。此类鉴相器不会错误锁定外部时钟的谐波。

鉴相器的输出是一对互补电流源，其对内部滤波器网络充电或放电。PLL 锁定范围保证在 200kHz 至 1MHz 之间。标称器件超出此范围，但不保证其在更宽频率范围内的工作性能。

PLL 具有锁定检测电路。如果 PLL 在运行期间失锁，STATUS_MFR_SPECIFIC 命令的第 4 位将置位，并且 ALERT 引脚会被拉低。向该位写

入 1 可以清除故障。当发生 PLL_FAULT 时，如果用户不希望看到 ALERT 引脚置位，可以使用 SMBALERT_MASK 命令来阻止警报。

如果 SYNC 信号在应用中不提供时钟，标称设置频率将控制 PWM 电路。但是，如果多个器件共用 SYNC 引脚且信号不提供时钟，这些器件将不会同步，输出上可能存在过多电压纹波。如果存在这种情况，MFR_PADS 的第 10 位将被置为低电平。

如果 PWM 信号似乎以过高的频率运行，应监视 SYNC 引脚。下降沿的额外转换会导致 PLL 尝试锁定噪声，而非预期信号。检查数字控制信号的布线，并使对 SYNC 信号的串扰最小，以避免上述问题。在多相配置中，多个 AST4700I 必须共享一个 SYNC 引脚。对于其他配置，连接 SYNC 引脚以形成单个 SYNC 信号是可选方案。如果多个 AST4700I 共享 SYNC 引脚，只能将一个 AST4700I 设置为频率输出。所有其他 AST4700I 应设置为禁用 SYNC 输出。但是，其频率应设置为标称的期望值。

输入电流检测放大器

AST4700I 输入电流检测放大器可使用外部检测电阻检测进入 V_{IN0} 和 V_{IN1} 功率级引脚的电源电流，如图 1 中的框图所示。R_{SENSE} 值可利用 MFR_IIN_CAL_GAIN 命令进行编程。建议在 R_{SENSE} 电阻上使用开尔文检测来消除误差。MFR_PWM_CONFIG [6:5] 设置输入电流检测放大器增益。参见 MFR_PWM_CONFIG 部分。IIN_OC_WARN_LIMIT 命令设置 ADC 测量的输入电流值 (以安培为单位)；它会产生一个警告，指示输入电流过高。READ_IIN 值用于确定是否已超出此限值。READ_IIN 命令返回在输入电流检测电阻上测得的输入电流 (以安培为单位)。

可编程环路补偿

AST4700I 提供可编程环路补偿，无需任何硬件更改即可优化瞬态响应。误差放大器增益 gm 在 1.0mΩ 至 5.73mΩ 之间变化，控制器内部的补偿电阻 R_{COMP} 在 0kΩ 至 62kΩ 之间变

化。设计中需要两个补偿电容 COMPna 和 COMPnb，COMPna 与 COMPnb 的典型比率为 10。

仅调整 gm 和 RCOMP，AST4700I 便可提供灵活的 Type II 补偿网络，优化各种输出电容的环路。调整 gm 将改变整个频率范围内的补偿增益，而不会移动极点和零点位置，如图 6 所示。调整 RCOMP 将改变极点和零点位置，如图 7 所示。

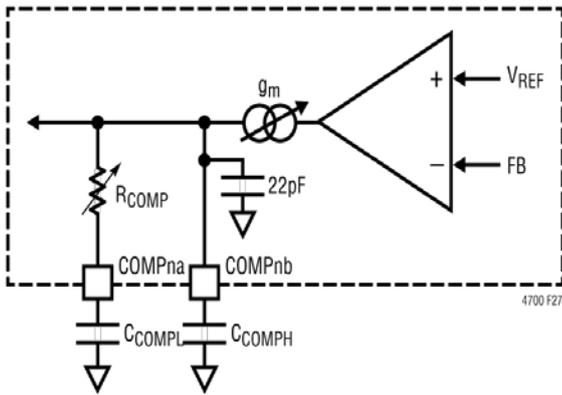


图 5. 可编程环路补偿

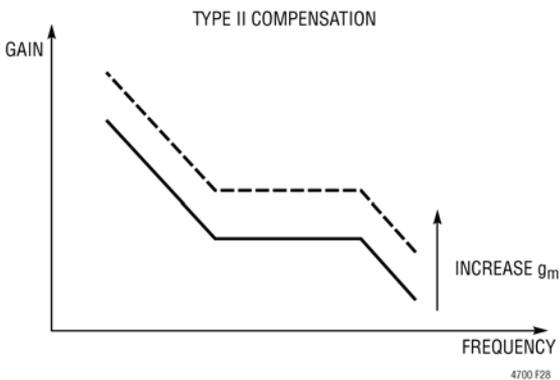


图 6. 误差放大器 gm 调整

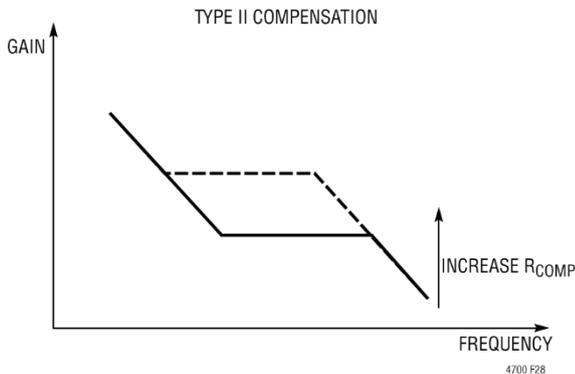


图 7. R_{TH} 调整

多相配置

使用多个 AST4700I 配置多相轨时，用户必须将这些器件的 SYNC、ITH、SHARE_CLK、FAULT 和 ALERT 引脚共享。务必在 FAULT、SHARE_CLK 和 ALERT 上使用上拉电阻。必须将器件的一个 SYNC 引脚设置为所需的开关频率，并将所有其他 FREQUENCY_SWITCH 命令设置为外部时钟。如果提供了外部振荡器，须将所有器件的 FREQUENCY_SWITCH 命令设置为外部时钟。所有通道的相对相位应均匀分布。所有器件的 MFR_RAIL_ADDRESS 应设置为相同的值。多个通道需要将所有 VSENSEn+ 引脚连接在一起，将所有 VSENSEn- 引脚连接在一起，COMPna 和 COMPnb 引脚也应连接在一起。除多相应用外，请勿置位 MFR_CONFIG_ALL 的位 [4]。

USB 连接到系统中 AST4700I 的 I²C/SMBus/PMBus 控制器

USB 转 I²C/SMBus/PMBus 适配器可与用户电路板上的 AST4700I 连接，以执行编程、遥测和系统调试。使用遥测、故障状态命令和故障日志可以快速诊断故障。最终配置可以快速开发并存储到 AST4700I EEPROM 中。图 8 显示了一个或多个 AST4700I 通过 I²C/SMBus/PMBus 适配器供电、编程和通信的应用原理图，系统电源是否存在与此无关。如果系统电源不存在，适配器将通过 V_{DD33} 电源引脚为 AST4700I 供电。当 V_{IN} 未施加而 V_{DD33} 引脚有电源时，为初始化器件，应使用全局地址 0x5B 命令 0xBD 数据 0x2B，然后使用地址 0x5B 命令 0xBD 数据 0xC4。AST4700I 现在即可与图 8 中的项目文件通信。控制器连接可以更新。要将更新的项目文件写入 NVM，须发出 STORE_USER_ALL 命令。当施加 V_{IN} 时，必须发出 MFR_RESET 命令以允许 PWM POWER 使能并读取有效 ADC。

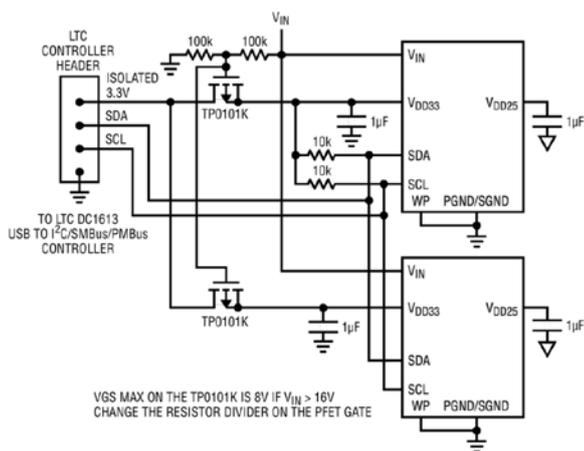


图 8. 控制器连接

适配器的拉电流能力有限，从 3.3V“或”电源供电的只能是 AST4700I 及其相关的上拉电阻和 I²C 上拉电阻。此外，任何与 AST4700I 共用 I²C 总线连接的器件，都不应在 SDA/SCL 引脚

与其各自的 V_{DD} 节点之间使用体二极管，因为在没有系统电源的情况下，这会干扰总线通信。如果施加了 V_{IN}，适配器将不会为电路板上的 AST4700I 供电。建议将 RUN_n 引脚保持低电平，或不插入电压配置电阻，以免在全面完成器件配置之前为负载供电。

AST4700I 通过适配器与主机 PC 接地完全隔离。必须使用单独的 PFET 将来自适配器和 AST4700I V_{DD33} 引脚的 3.3V 电压驱动到每个 AST4700I。如果未施加 V_{IN} 和 EXT_{VCC}，则 V_{DD33} 引脚可以并联，因为片内 LDO 处于关闭状态。控制器 3.3V 电流限值为 100mA，但 V_{DD33} 电流典型值低于 15mA。V_{DD33} 会反向驱动 INT_{VCC}/EXT_{VCC} 引脚。一般来说，如果 V_{IN} 开路，那么这不是问题。

EMI 性能

SWn 引脚用于访问 AST4700I 功率级中功率 MOSFET 的中点。

在 SWn 和 GND 之间连接一个可选串联 RC 网络，可以抑制由开关电流路径中的寄生电感和电容引起的高频 (~30MHz+) 开关节点振铃。RC 网络被称为缓冲器电路，因为它以功率损耗提高为代价来抑制 (或“缓冲”) 寄生效应的谐振。要使用缓冲器，首先应选择要给任务分配多少功率，以及有多少 PCB 面积可用于实现缓冲器。例如，如果 PCB 空间允许使用低电感 0.5W 电阻，那么缓冲器网络 (CSW) 中的电容可通过下式计算：

$$C_{SW} = \frac{P_{SNUB}}{V_{INn(MAX)}^2 * f_{SW}}$$

其中， $V_{INn(MAX)}$ 是应用中功率级输入 (V_{INn}) 会看到的最大输入电压， f_{SW} 是 DC/DC 转换器的开关工作频率。 C_{SW} 应为 NPO、COG 或 X7R 型 (或更好的) 材料。

缓冲器电阻 (R_{SW}) 值由下式给出：

$$R_{SW} = \sqrt{\frac{5nH}{C_{SW}}}$$

缓冲器电阻应为低 ESL，并能承受缓冲器电路中的脉冲电流。一般使用 0.7Ω 至 4.2Ω 的电阻值。2.2nF 缓冲器电容是与接 GND 的缓冲器电阻串联使用的良好起始值。用户可以监视空载输入静态电流，同时选择不同的 RC 串联缓冲器元件，从而获得功率损耗增加与开关节点振铃衰减的关系。

典型应用电路参考

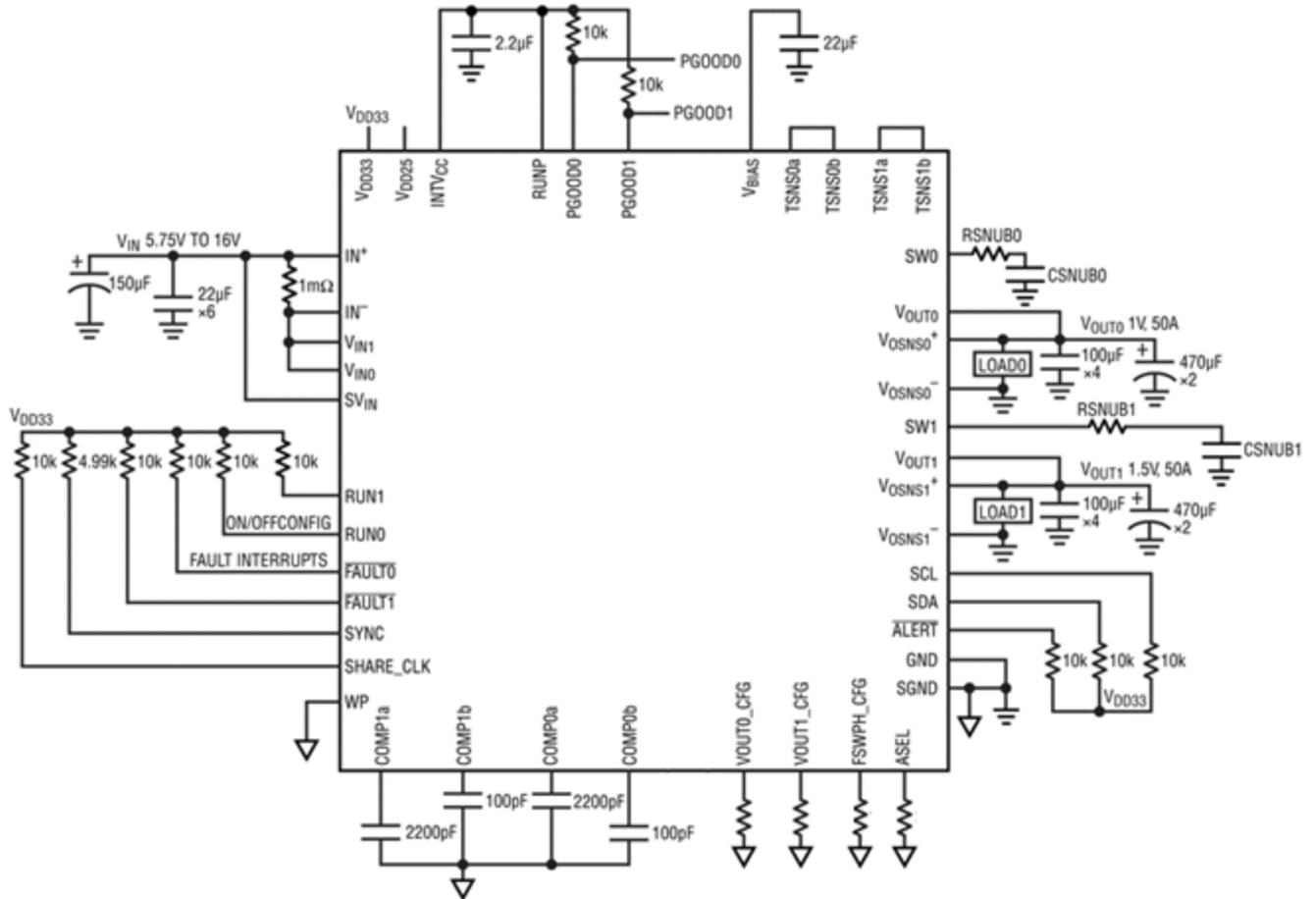


图 9. 1.0V 和 1.5V、50A 输出，提供 I²C/SMBus/PMBus 串行接口

典型应用电路参考

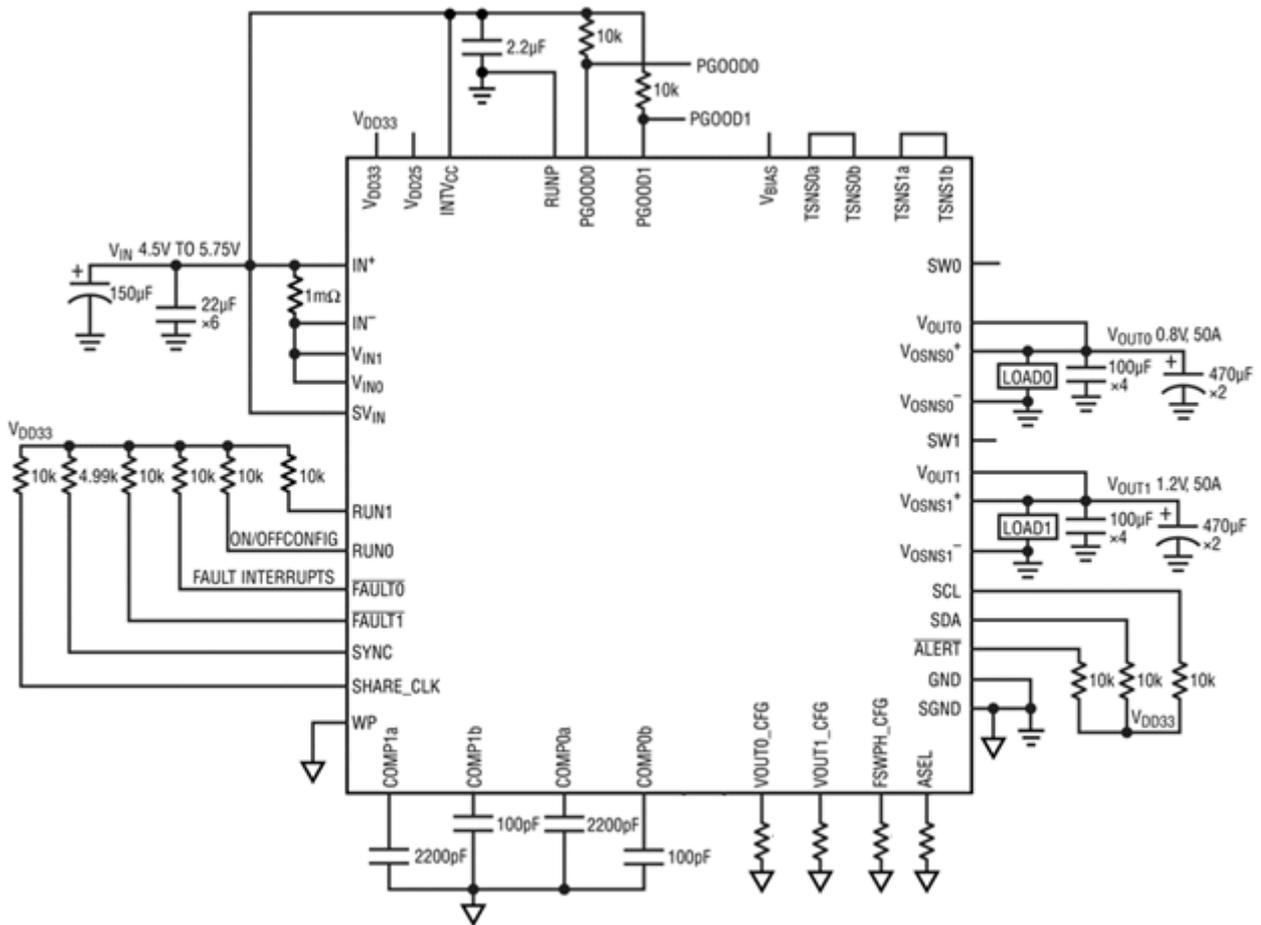


图 10. 4.5V 至 5.75V 输入， 0.8V 和 1.2V、50A 输出， I²C/SMBus/PMBus 串行接口

典型应用电路参考

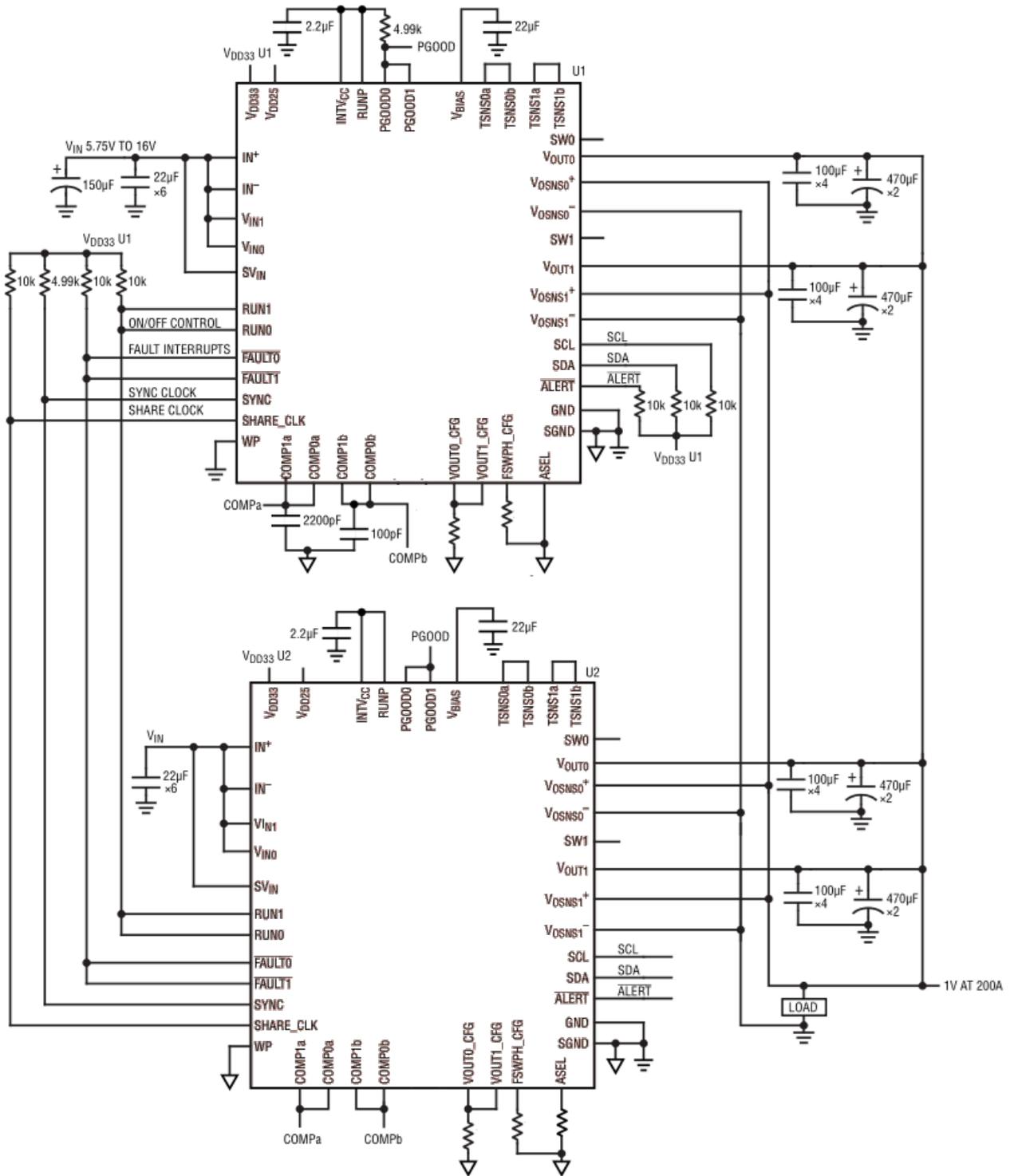


图 11. 两个并联 AST4700I 产生 1V_{OUT}、200A 输出。集成电源系统管理功能可通过 2 线 I²C/SMBus/PMBus 串行接口访问

典型应用电路参考

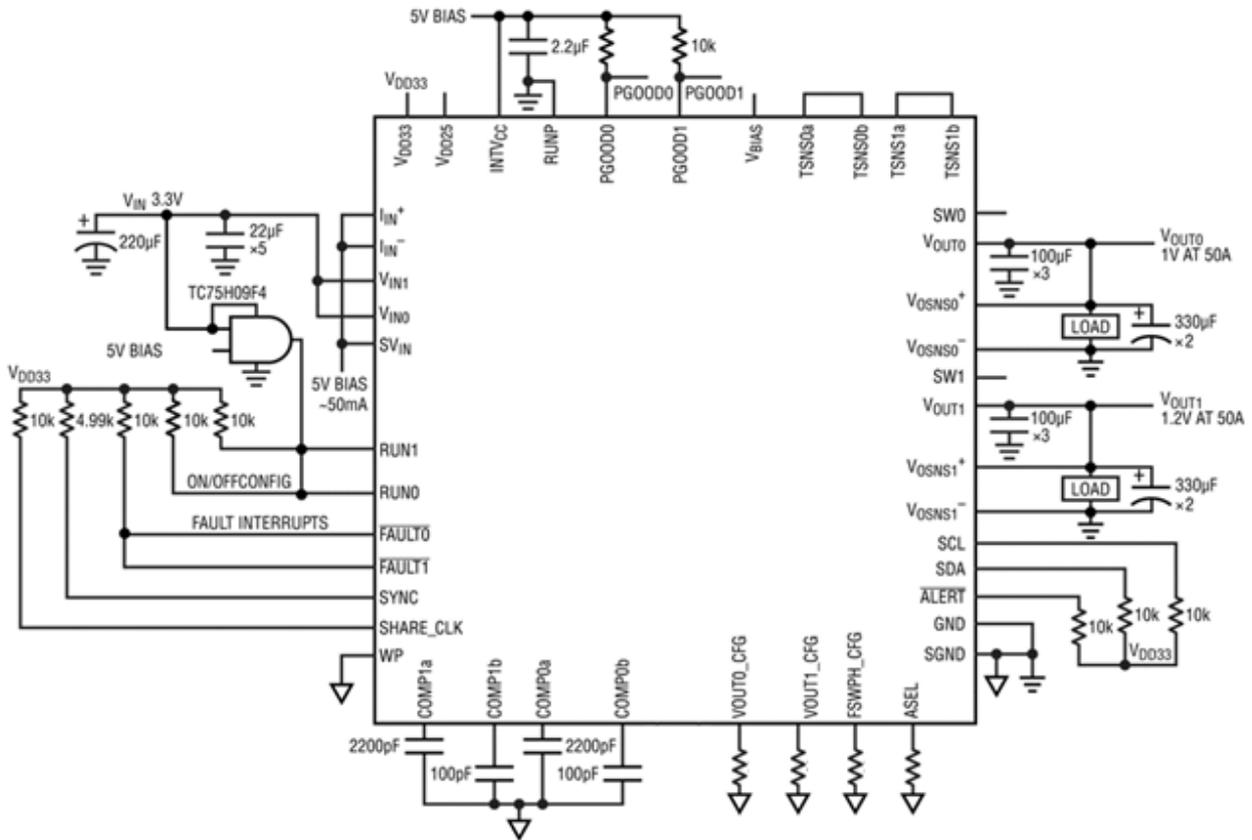


图 12. 3.3V 输入 AST4700I 产生高达 50A 的 1V_{OUT} 和 1.2V_{OUT}。集成电源系统管理功能可通过 2 线 I²C/SMBus/PMBus 串行接口访问

典型应用

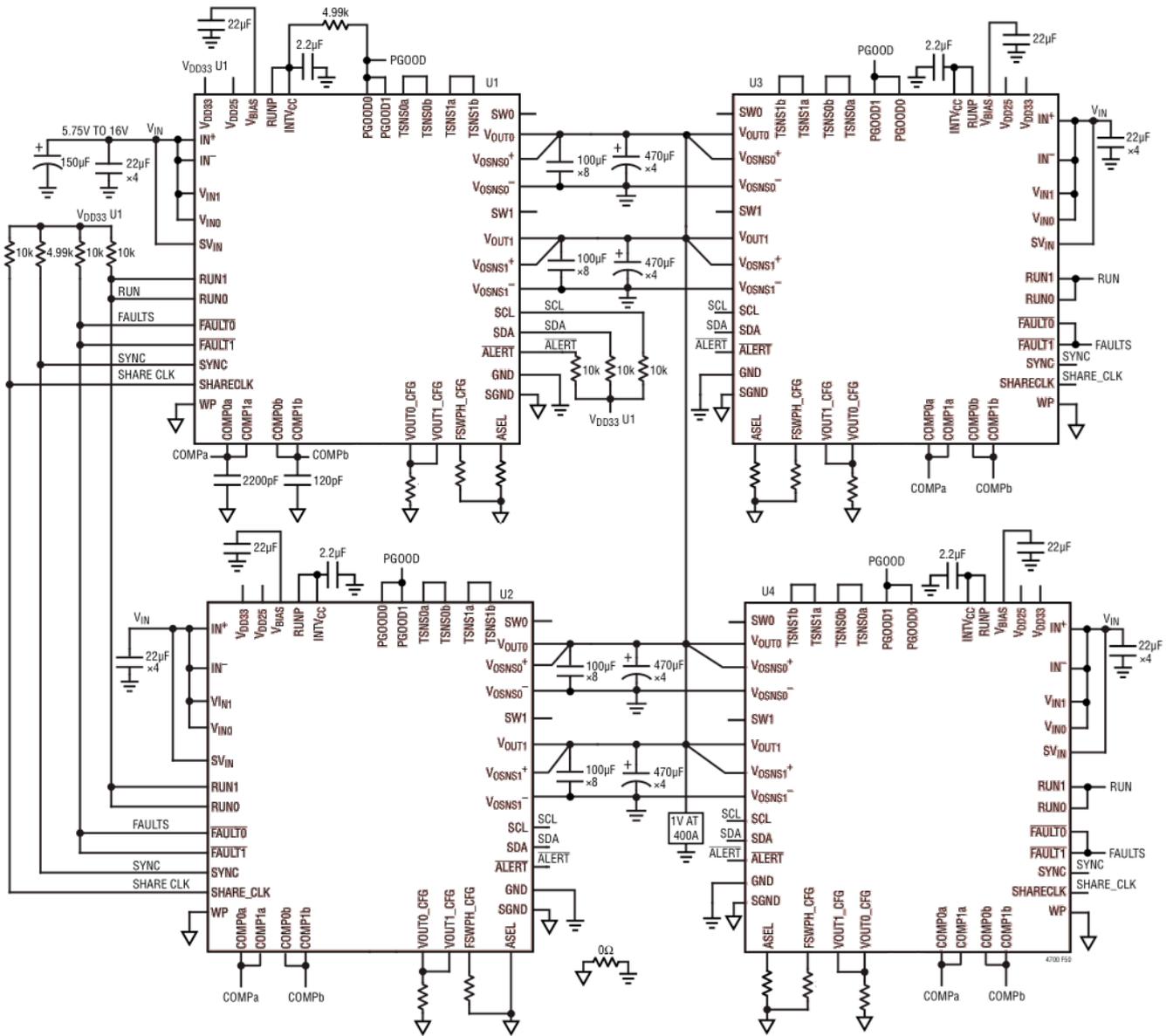


图 13. 使用四个 AST4700I 的 8 相操作，产生 1V、400A 输出。电源系统管理功能可通过 2 线 I²C/SMBus/ PMBus 串行接口访问

封装说明

表 8. AST4700I BGA 引脚排列

引脚 ID	功能										
A1	SW1	B1	SW1	C1	SW1	D1	SW1	E1	SW1	F1	SW1
A2	SW1	B2	SW1	C2	SW1	D2	SW1	E2	SW1	F2	SW1
A3	GND	B3	GND	C3	GND	D3	GND	E3	GND	F3	GND
A4	GND	B4	GND	C4	GND	D4	GND	E4	GND	F4	GND
A5	GND	B5	GND	C5	GND	D5	GND	E5	GND	F5	GND
A6	V _{IN1}	B6	V _{IN1}	C6	V _{IN1}	D6	V _{IN1}	E6	V _{IN1}	F6	V _{IN1}
A7	V _{IN1}	B7	V _{IN1}	C7	V _{IN1}	D7	V _{IN1}	E7	V _{IN1}	F7	V _{IN1}
A8	V _{IN1}	B8	V _{IN1}	C8	V _{IN1}	D8	V _{IN1}	E8	V _{IN1}	F8	V _{IN1}
A9	GND	B9	GND	C9	GND	D9	GND	E9	GND	F9	GND
A10	GND	B10	GND	C10	GND	D10	GND	E10	GND	F10	GND
A11	GND	B11	GND	C11	GND	D11	GND	E11	GND	F11	GND
A12	V _{OUT1}	B12	V _{OUT1}	C12	V _{OUT1}	D12	V _{OUT1}	E12	V _{OUT1}	F12	V _{OUT1}
A13	V _{OUT1}	B13	V _{OUT1}	C13	V _{OUT1}	D13	V _{OUT1}	E13	V _{OUT1}	F13	V _{OUT1}
A14	V _{OUT1}	B14	V _{OUT1}	C14	V _{OUT1}	D14	V _{OUT1}	E14	V _{OUT1}	F14	V _{OUT1}
A15	V _{OUT1}	B15	V _{OUT1}	C15	V _{OUT1}	D15	V _{OUT1}	E15	V _{OUT1}	F15	V _{OUT1}

引脚 ID	功能	引脚 ID	功能	引脚 ID	功能	引脚 ID	功能	引脚 ID	功能	引脚 ID	功能
G1	SW1	H1	SW1	J1	SW1	K1	SW1	L1	GND	M1	GND
G2	SW1	H2	SW1	J2	SW1	K2	SW1	L2	GND	M2	GND
G3	GND	H3	GND	J3	GND	K3	GND	L3	GND	M3	GND
G4	GND	H4	GND	J4	GND	K4	GND	L4	GND	M4	GND
G5	GND	H5	GND	J5	GND	K5	GND	L5	GND	M5	GND
G6	V _{IN1}	H6	V _{IN1}	J6	V _{IN1}	K6	V _{IN1}	L6	GND	M6	GND
G7	V _{IN1}	H7	V _{IN1}	J7	V _{IN1}	K7	V _{IN1}	L7	GND	M7	GND
G8	V _{IN1}	H8	V _{IN1}	J8	WP	K8	SHARE_CLK	L8	COMP1a	M8	V _{OSNS1} ⁻
G9	GND	H9	NC	J9	NC	K9	V _{DD33}	L9	COMP1b	M9	V _{OSNS1} ⁺
G10	V _{DD25}	H10	V _{OUT1} CFG	J10	V _{OUT0} CFG	K10	GND	L10	SGND	M10	SGND
G11	GND	H11	ASEL	J11	F _{SWPH} CFG	K11	GND	L11	SGND	M11	SGND
G12	GND	H12	FAULT1	J12	RUN0	K12	RUN1	L12	SGND	M12	SGND
G13	GND	H13	FAULT0	J13	ALERT	K13	TSNS0a	L13	TSNS1a	M13	COMP0b
G14	TSNS1b	H14	SDA	J14	SCL	K14	SYNC	L14	GND	M14	GND
G15	V _{OUT1}	H15	V _{OUT1}	J15	V _{OUT1}	K15	V _{OUT1}	L15	GND	M15	GND

引脚 ID	功能	引脚 ID	功能	引脚 ID	功能	引脚 ID	功能	引脚 ID	功能	引脚 ID	功能
N1	SW0	P1	SW0	R1	SW0	T1	SW0	U1	SW0	V1	SW0
N2	SW0	P2	SW0	R2	SW0	T2	SW0	U2	SW0	V2	SW0
N3	GND	P3	GND	R3	GND	T3	GND	U3	GND	V3	GND
N4	GND	P4	GND	R4	GND	T4	GND	U4	GND	V4	GND
N5	GND	P5	GND	R5	GND	T5	GND	U5	GND	V5	GND
N6	V _{INO}	P6	V _{INO}	R6	V _{INO}	T6	V _{INO}	U6	V _{INO}	V6	V _{INO}
N7	V _{INO}	P7	V _{INO}	R7	V _{INO}	T7	V _{INO}	U7	V _{INO}	V7	V _{INO}
N8	GND	P8	GND	R8	V _{INO}	T8	V _{INO}	U8	V _{INO}	V8	V _{INO}
N9	PGOOD1	P9	GND	R9	GND	T9	GND	U9	GND	V9	SVIN
N10	GND	P10	GND	R10	INTV _{CC}	T10	GND	U10	GND	V10	GND
N11	GND	P11	GND	R11	GND	T11	V _{BIAS}	U11	GND	V11	GND
N12	GND	P12	GND	R12	GND	T12	GND	U12	V _{OUT0}	V12	V _{OUT0}
N13	COMPOa	P13	I _{IN} ⁻	R13	I _{IN} ⁺	T13	GND	U13	V _{OUT0}	V13	V _{OUT0}
N14	V _{OSNS0} ⁻	P14	V _{OSNS0} ⁺	R14	PGOOD0	T14	TSNS0b	U14	V _{OUT0}	V14	V _{OUT0}
N15	V _{OUT0}	P15	V _{OUT0}	R15	V _{OUT0}	T15	V _{OUT0}	U15	V _{OUT0}	V15	V _{OUT0}

引脚 ID	功能						
W1	SW0	Y1	SW0	AA1	SW0	AB1	SW0
W2	SW0	Y2	SW0	AA2	SW0	AB2	SW0
W3	GND	Y3	GND	AA3	GND	AB3	GND
W4	GND	Y4	GND	AA4	GND	AB4	GND
W5	GND	Y5	GND	AA5	GND	AB5	GND
W6	V _{INO}	Y6	V _{INO}	AA6	V _{INO}	AB6	V _{INO}
W7	V _{INO}	Y7	V _{INO}	AA7	V _{INO}	AB7	V _{INO}
W8	V _{INO}	Y8	V _{INO}	AA8	V _{INO}	AB8	V _{INO}
W9	GND	Y9	GND	AA9	GND	AB9	GND
W10	GND	Y10	RUNP	AA10	GND	AB10	GND
W11	GND	Y11	GND	AA11	GND	AB11	GND
W12	V _{OUT0}	Y12	V _{OUT0}	AA12	V _{OUT0}	AB12	V _{OUT0}
W13	V _{OUT0}	Y13	V _{OUT0}	AA13	V _{OUT0}	AB13	V _{OUT0}
W14	V _{OUT0}	Y14	V _{OUT0}	AA14	V _{OUT0}	AB14	V _{OUT0}
W15	V _{OUT0}	Y15	V _{OUT0}	AA15	V _{OUT0}	AB15	V _{OUT0}

SMT 上板前湿度敏感性

AST4700I 产品上板前必须要烘干，否则可能因潮气导致焊接不良甚至损坏。参考 JEDEC 标准 J-STD-033“Handling, Packing, Shipping, and Use of Moisture/Reflow Sensitive Surface Mount Devices”，请按以下条件烘烤模块：温度 125°C，时长 48 小时或以上。SMT 回流焊温度曲线请参考图 14。

提醒：请尽量避免使用超过 SMT 回流焊峰值温度的高温焊接方式（例如高温热风枪、高温热板等）焊接上板、或者拆卸 AST4700I 产品模块，任何超过 SMT 回流焊峰值温度的高温焊接与拆卸方式，均有可能对产品造成不可逆转的损伤甚至损坏，厂家对超过 SMT 回流焊峰值温度进行焊接与拆卸的产品，将不作产品性能保证，并难以作出准确的失效分析。

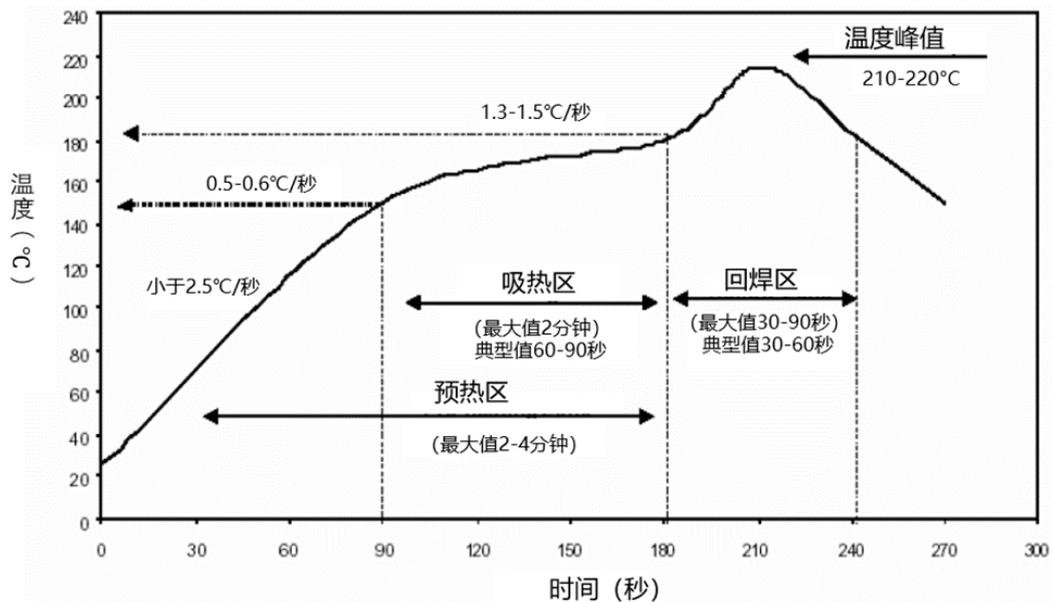
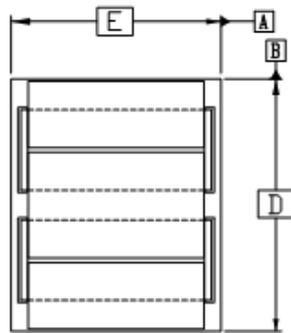


图 14. 回流焊温度曲线图

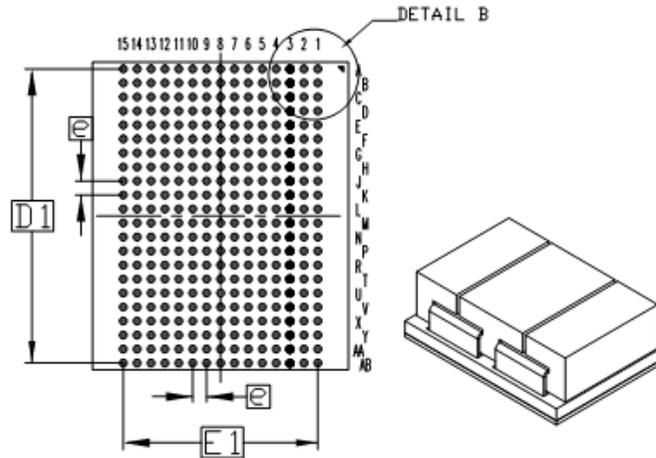
订货型号

序号	产品型号	产品封装	尺寸大小
1	AST4700I	BGA330	18.4mm×22mm×8.26mm

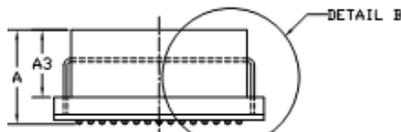
封装描述



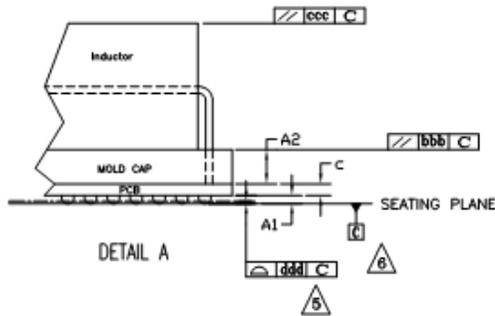
TOP VIEW



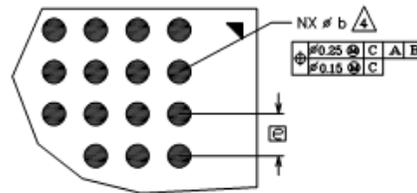
BOTTOM VIEW



SIDE VIEW



DETAIL A



DETAIL B

DIMENSIONAL REFERENCES			
REF.	MIN.	NOM.	MAX.
A	7.96	8.26	8.56
A1	0.31	0.36	0.41
A2	1.40	1.50	1.60
A3	5.80	5.90	6.00
c	0.45	0.50	0.55
D	21.90	22.00	22.10
D1	21.00 BSC.		
E	18.30	18.40	18.50
E1	14.00 BSC.		
b	0.50	0.60	0.70
bbb	0.25		
ccc	0.35		
ddd	0.20		
e	1.00 BSC.		
MD/ME	22/15		
N	330		
REF: JEDEC MS-028			

NOTES:

- ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS.
- 'e' REPRESENTS THE BASIC SOLDER BALL GRID PITCH.
- 'M' REPRESENTS THE BASIC SOLDER BALL MATRIX SIZE. AND SYMBOL 'N' IS THE NUMBER OF BALLS AFTER DEPOPULATING.
- 'b' IS MEASURABLE AT THE MAXIMUM SOLDER BALL DIAMETER AFTER REFLOW PARALLEL TO PRIMARY DATUM C
- DIMENSION 'ddd' IS MEASURED PARALLEL TO PRIMARY DATUM C
- PRIMARY DATUM C AND SEATING PLANE ARE DEFINED BY THE SPHERICAL CROWNS OF THE SOLDER BALLS.
- PACKAGE SURFACE SHALL BE MATTE FINISH CHARMILLES 24 TO 27.
- SUBSTRATE MATERIAL BASE IS BT RESIN / High Tg FR4.
- DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ASME Y14.5M 1994.
- CONFORM TO JEDEC MS-028, EXCEPT DIMENSION 'A1' and 'A'.