

HY4644 型四通道 DC-DC 调节器

数据手册

1 概述

1.1 产品特性

- ◆ 每路可输出 4A 电流的四通道降压型稳压器
- ◆ 输入电压范围：4V~14V
- ◆ 输出电压范围：0.6V~5.5V
- ◆ 最大输出电流：4A
- ◆ 可并联提供更高的输出电流
- ◆ 过压、过流和过热保护
- ◆ 工作温度范围 T_A ：- 55°C~ + 125°C

1.2 产品应用

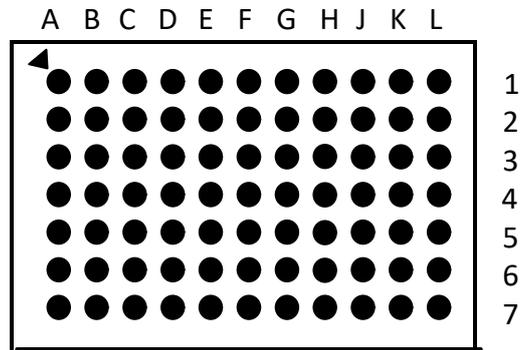
- ◆ 分布式电源系统
- ◆ FPGA、DSP、ASIC 等供电单元
- ◆ 通讯设备
- ◆ 仪器仪表

1.3 产品描述

HY4644 是四通道 DC-DC 降压模块（微模块）调节器，每路输出为 4A。输出可以在阵列中并联，最多 16A 能力。在该器件中包括开关控制器、功率 FET、电感器和支持组件。典型的开关频率设置为 1MHz。HY4644 在 4V 到 14V 输入电压范围内工作，支持通过单个外部电阻设置输出电压范围为 0.6V 到 5.5V。其高效设计提供每通道 4A 连续输出电流。只需要大容量输入和输出电容器。对于开关噪声敏感的应用，可以从外部同步到从 700kHz 到 1.3MHz 的时钟。

2 引脚排列

本产品引脚排列示意图及引脚描述如下图所示：



引脚符号	引脚序号	功能描述	引脚符号	引脚序号	功能描述
V _{OUT1} V _{OUT2} V _{OUT3} V _{OUT4}	A1, A2, A3 C1, D1, D2 F1, G1, G2 J1, K1, K2	功率输出端：建议直接把输出退耦电容放置在 V _{OUT} 与 GND 之间。	RUN1 RUN2 RUN3 RUN4	C6 F6 J6 K7	开关稳压器运行控制：高于 1.2V 运行、低于 1.1V 禁止输出，不能悬空。
COMP1 COMP2 COMP3 COMP4	B7 E7 H7 L7	阈值电流控制和误差放大器补偿端：内部电流比较器门限与该引脚电压成比例。并联使用时将各补偿引脚连接在一起。	FB1 FB2 FB3 FB4	A7 D7 G7 J7	开关稳压器输出电压调整端。
MODE1 MODE2 MODE3 MODE4	B6 E6 H6 L6	开关稳压器工作模式选择：该引脚连接至 INTV _{CC} ，所有负载工作于强制连续模式，该引脚连接至 SGND，在轻载时进入不连续电流模式，不能悬空。	INTV _{CC1} INTV _{CC2} INTV _{CC3} INTV _{CC4}	C4 F4 J4 K5	内部供电端：每个开关稳压器通道内部 3.3V 稳压器输出，为内部功率驱动器及控制电路提供电压。
TRACK/SS1 TRACK/SS2 TRACK/SS3 TRACK/SS4	A6 D6 G6 K6	输出电压跟踪和软启动端。	V _{IN1} V _{IN2} V _{IN3} V _{IN4}	B3, B4 E3, E4 H3, H4 L3, L4	功率输入端：建议直接把输入退耦电容放置在 V _{IN} 与 GND 之间。
PGOOD1 PGOOD2 PGOOD3 PGOOD4	C3 C2 F2 J2	开关稳压器输出电压良好指示端：当 FB 引脚电压不在模块基准电压 0.6V 的 ±10% 以内时，该引脚被拉低到地。	TEMP	F3	内置温度二极管，用于监视 V _{BE} 结电压随温度的变化情况。
GND	A4, A5, B1, B2, C5, D3, D4, D5, E1, E2, F5, G3, G4, G5, H1, H2, J5, K3, K4, L1, L2	功率地：用于输入和输出回路的电源接地引脚。	SV _{IN1} SV _{IN2} SV _{IN3} SV _{IN4}	B5 E5 H5 L5	滤波输入电压端：每个开关稳压器通道内部 3.3V 稳压器的滤波输入电压端。在大多数应用中，将此引脚分别连接到 V _{IN} 引脚。将 SV _{IN} 连接至至少 4V 的外部电源，该电压也必须大于 V _{OUT} 。
SGND	F7	信号地端：SGND 在内部通过单点连接至 GND。	CLKIN	C7	模块相位检波器的外部同步输入端。
CLKOUT	J3	用于多相操作输出时的时钟信号端。	-	-	-

图 1 引出端排列示意图(底部视图)

3 电气参数

3.1 绝对最大额定值

表 1 绝对最大额定值

特性	额定值	单位
V_{IN} , SV_{IN} (每通道)	0~15	V
V_{OUT} (每通道)	0~ SV_{IN} 或 6	V
RUN (每通道)	0~15	V
$INTV_{CC}$ (每通道)	0~3.6	V
PGOOD, MODE, FB, TRACK/SS (每通道)	0~ $INTV_{CC}$	V
CLK_{OUT} , CLK_{IN}	0~ $INTV_{CC}$	V
回流焊温度 (50s)	+ 245	°C
存储温度范围	- 55~ + 125	°C

3.2 推荐工作条件

表 2 推荐工作条件

特性	符号	条件/描述	额定值	单位
电源电压	V_{IN}		+ 12	V
工作温度范围	T_A		- 55~ + 125	°C

3.3 电气特性

除另有规定， $V_{IN}=12V$ ，适用的工作温度（ T_A ）范围为（ $-55^{\circ}C \sim +125^{\circ}C$ ）。

表 3 直流特性

特性	符号	条件/描述	最小值	典型值	最大值	单位
输入 DC 电压	V_{IN} , SV_{IN}	$SV_{IN}=V_{IN}$	4	-	14	V
输出电压范围	$V_{OUT(RANGE)}$		0.6	-	5.5	V
输出电压，随线路和负荷的总变化	$V_{OUT(DC)}$	$C_{IN}=22\mu F$, $C_{OUT}=100\mu F$ 陶瓷, $R_{FB}=40.2k$, $MODE=INTV_{CC}$, $V_{IN}=4V$ 到 $14V$, $I_{OUT}=0A$ 到 $4A$	1.45	-	1.55	V
RUN 引脚上的阈值	V_{RUN}	V_{RUN} 升高	1.0	-	1.3	V
输入电源偏置电流	$I_{Q(SVIN)}$	$V_{IN}=12V$, $V_{OUT}=1.5V$, $MODE=INTV_{CC}$	-	-	10	mA
		$V_{IN}=12V$, $V_{OUT}=1.5V$, $MODE=GND$	-	-	5	mA
		关断, $RUN=0$, $V_{IN}=12V$	-	-	20	μA
输入电源电流	$I_{S(VIN)}$	$V_{IN}=12V$, $V_{OUT}=1.5V$, $I_{OUT}=4A$	0.55	-	0.75	A
输出连续电流范围	$I_{OUT(DC)}$	$V_{IN}=12V$, $V_{OUT}=1.5V$	0	-	4	A
线性调节精度	$\frac{\Delta V_{OUT(Line)}}{V_{OUT}}$	$V_{OUT}=1.5V$, $V_{IN}=4V$ 到 $14V$, $I_{OUT}=0A$	-	-	0.15	%/V
负载调节精度	$\frac{\Delta V_{OUT(Load)}}{V_{OUT}}$	$V_{OUT}=1.5V$, $I_{OUT}=0A$ 到 $4A$,	-	-	5	%
输出峰值电流	I_{OUTPK}	$V_{IN}=12V$, $V_{OUT}=1.5V$	5	-	-	A
FB 引脚电压	V_{FB}	$I_{OUT}=0A$, $V_{OUT}=1.5V$,	0.590	-	0.610	V
V_{OUT} 和 FB 引脚之间的电阻（设计保证）	R_{FBHI}		59.95	60.40	60.85	k Ω
TRACK 引脚软启动上拉电流	$I_{TRACK/SS}$	TRACK/SS=0V	-	-	4	μA
PGOOD 触发等级	V_{PGOOD}	V_{FB} 斜坡负向	- 14	-	- 7	%
		V_{FB} 斜坡正向	7	-	14	%
PGOOD 漏电流	I_{PGOOD}		-	-	10	μA
PGOOD 低电压	V_{PGL}	$I_{PGOOD}=1mA$	-	-	0.1	V
内部 V_{CC} 电压	$V_{INTV_{CC}}$	$SV_{IN}=4V$ 到 $14V$	3.5	-	3.7	V
INTV _{CC} 负载调节	$V_{INTV_{CC}}$ 负载调节	$I_{CC}=0mA$ 到 $20mA$	-	-	2	%
振荡频率	f_{OSC}		0.8	-	1.2	MHz

4 应用信息

4.1 V_{IN} 到 V_{OUT} 降压比

由于每个调节器的最小关闭时间和最小开启时间限制，在给定输入电压下可实现的最大 V_{IN} 和 V_{OUT} 降压比存在限制。最小关闭时间限制规定了最大占空比，可计算为：

$$D_{MAX} = 1 - t_{OFF(MIN)} \cdot f_{SW}$$

其中，t_{OFF(MIN)}为最小关闭时间（通常为 70ns），f_{sw} 为开关频率。相反，最小开启时间限制规定了转换器的最小占空比，可计算为：

$$D_{MIN} = t_{ON(MIN)} \cdot f_{SW}$$

其中 t_{ON(MIN)}为最小开启时间（通常为 40ns）。在极少数超过最小占空比的情况下，输出电压仍将保持在规定范围内，但开关频率将从其编程值下降。

4.2 输出电压调整端

PWM 控制器内部基准电压为 0.6V，输出端 V_{OUT} 与输出电压调整端 FB 之间内置电阻为 60.4kΩ，输出电压调整电阻计算公式为：

$$R_{FB} = \frac{60.4k}{V_{OUT}/0.6 - 1}$$

表 4 电阻值与各典型输出电压之间的关系

V _{OUT} (V)	0.6	1.0	1.2	1.5	1.8	2.5	3.3	5.0
R _{FB} (k)	OPEN	90.9	60.4	40.2	30.1	19.1	13.3	8.25

当 N 个通道并联工作时，可以使用以下方程式来求解 R_{FB}。将各通道 V_{OUT}、FB 和 COMP 引脚连接在一起，在 FB 引脚和 SGND 引脚之间放置外部电阻 R_{FB}，即可设置输出电压值，R_{FB} 电阻由下式确定：

$$R_{FB} = \frac{60.4k/N}{V_{OUT}/0.6 - 1}$$

4.3 非连续导通模式 (DCM)

在需要低输出纹波和高中间电流效率的应用中，应通过连接 MODE 引脚到 SGND 来使用非连续导通模式(DCM)。在轻载时，内部电流比较器在几个周期内可能会保持触发，并使顶部的 MOSFET 保持关闭几个周期，从而跳过周期。在此模式下，电感电流不会反向。

4.4 强制连续导通模式 (CCM)

在固定频率工作比低电流效率更关键的应用中，以及需要最低输出纹波的应用中，应使用强制连续导通模式工作。强制连续导通模式可以通过将 MODE 引脚连接到 INTV_{CC} 来实现。在这种模式下，电感电流允许在低输出负载期间反向，COMP 电压始终由电流比较器阈值控制，并且顶部的 MOSFET 总是随着每个振荡器脉冲开启。在启动期间，强制连续导通模式被禁用，电感电流被阻止反向，直到 HY4644 的输出电压处于调节状态。

4.5 工作频率

HY4644 的工作频率经过优化，以实现最小的输出纹波电压，保持高效性。默认的工作频率在内部设置为 1MHz。在大多数应用程序中，不需要额外的频率调整。如果应用需要除 1MHz 以外的任何工作频率，HY4644 可以从外部同步到从 700kHz 到 1.3MHz 的时钟。

4.6 频率同步和时钟输入

该电源模块具有由内部压控振荡器和相位检测器组成的锁相环。这允许所有内部顶部 MOSFET 打开被锁定在相同的外部时钟的上升沿。外部时钟频率范围必须在 1MHz 设定频率的 ±30% 范围内。脉冲检测电路用于检测 CLK_{IN} 引脚上的时钟信号，以开启锁相环。时钟的脉冲宽度必须至少为 400ns。时钟高电平必须高于 2V，低电平必须低于 0.3V。在调节器启动期间，锁相环功能被禁用。

4.7 软启动

TRACK/SS 引脚提供一种实现每个稳压器通道的软启动或跟踪一个不同电压的使用方法。TRACK/SS 引脚上的一个电容设置输出电压的斜坡速率，一个内置的 2.5μA 电流源将把外部软启动电容充电至接近 INTV_{CC}。当 TRACK/SS 电压低于 0.6V 时，它将替代内部误差放大器的 0.6V 基准电压来控制输出电压。软启动时间可按下式计算：

$$t_{SS} = 0.6 \times \frac{C_{SS}}{2.5 \mu A}$$

式中的 C_{SS} 为 TRACK/SS 引脚上的电容。在软启动中电路折返和强制连续模式被禁用。

4.8 输出电压跟随

输出电压跟随可采用每个稳压器通道的 TRACK/SS 引脚在外部设置。可以使输出跟踪另一个稳压器的上升或下降。下图 2 为比例式跟踪的波形和原理图实例，其中从属稳压器的输出（ V_{OUT2} 、 V_{OUT3} 和 V_{OUT4} ）摆率与主稳压器的输出 V_{OUT1} 成正比。

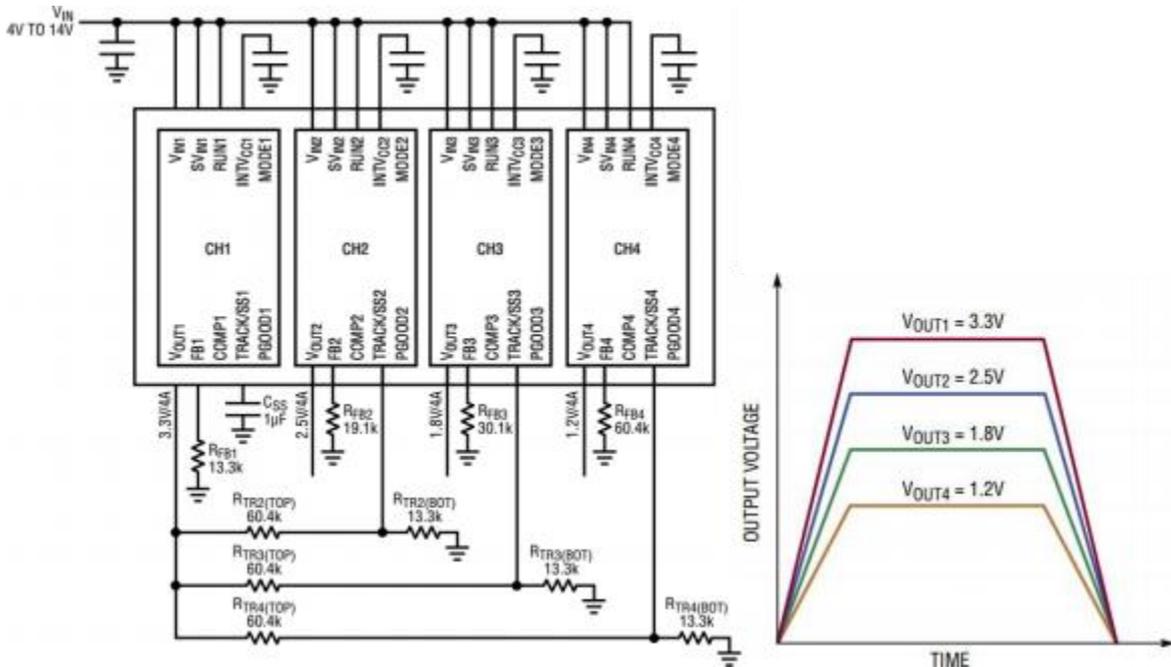


图 2 输出比例式跟踪原理图和输出波形

由于从属稳压器的 TRACK/SS 通过一个 $R_{TR(TOP)}/R_{TR(BOT)}$ 连接至主稳压器的输出，而且当 TRACK/SS 引脚电压低于 0.6V 时其电压用于调节从稳压器的输出，如图 3 所示，因此从属稳压器输出电压和主稳压器的输出电压启动期间应满足下式：

$$\left| \frac{R_{FB(SL)}}{R_{FB(SL)} + 60.4k} \right| \times V_{OUT(SL)} = \left| \frac{R_{TR(BOT)}}{R_{TR(TOP)} + R_{TR(BOT)}} \right| \times V_{OUT(MA)}$$

注：60.4k 为集成的顶部反馈电阻， $R_{FB(SL)}$ 为外部底部反馈电阻， $R_{TR(TOP)}/R_{TR(BOT)}$ 是从属稳压器 TRACK/SS 引脚上的电阻分压器。

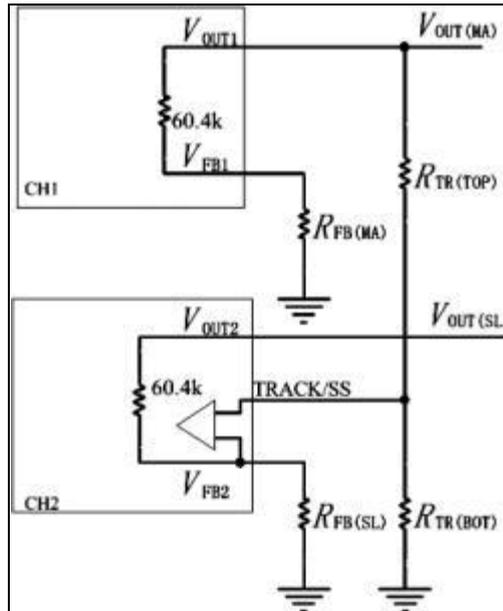


图 3 输出电压跟随示意图

按照上面的公式，以“伏特/时间”为单位的主稳压器输出摆率（MR）和从属稳压器输出摆率（SR）由下式决定：

$$\frac{MR}{SR} = \frac{R_{FB(SL)} / (R_{FB(SL)} + 60.4k)}{R_{TR(BOT)} / (R_{TR(TOP)} + R_{TR(BOT)})}$$

重合输出跟踪可以看作是一种特殊的比例式输出跟踪，即主稳压器的输出摆率（MR）与从属稳压器的输出摆率（SR）相同，图 4 所示。在重合跟踪中，从属稳压器的 TRACK/SS 引脚电压始终与其输出电压相同。

$$\left(\frac{R_{FB(SL)}}{R_{FB(SL)} + 60.4k} \right) = \left(\frac{R_{TR(BOT)}}{R_{TR(TOP)} + R_{TR(BOT)}} \right)$$

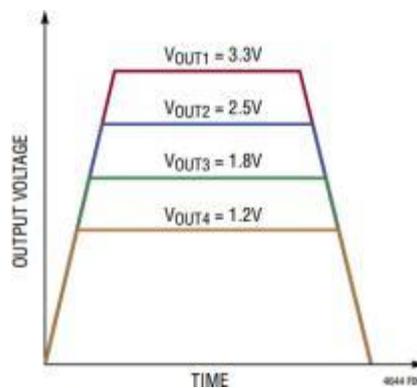


图 4 输出重合跟踪波形

4.9 输出功率良好指示端

PGOOD 引脚是开漏引脚，可用于监测每个有效的输出电压调节。这个引脚监控调节点周围 $\pm 10\%$ 的窗口。电阻器可以被拉到特定的电源电压以进行监测。为了防止在瞬态或动态 V_{OUT} 变化期间出现不必要的 PGOOD 故障，HY4644 的 PGOOD 下降沿包括大约 52 个开关周期的消隐延迟。

4.10 稳定性补偿

HY4644 模块每个调节器通道的内部补偿回路专为低 ESR 陶瓷输出电容器应用而设计和优化。如果输出纹波或动态瞬态尖峰减小需要大容量输出电容器，则 V_{OUT} 和 FB 引脚之间需要额外的 10pF 至 15pF 相位升压电容器。

4.11 RUN 使能

将调节器每个通道的 RUN 引脚拉到地上会迫使调节器进入关断状态，从而关闭功率 MOSFET 及其大部分内部控制电路。使 RUN 引脚高于 0.7V 仅打开内部参考，同时仍保持功率 MOSFET 关闭。将 RUN 引脚电压进一步增加到 1.2V 以上将开启整个调节器通道。

4.12 预偏置启动

在某些情况下，可能需要在输出电容器充电的情况下启动电源。HY4644 可以安全地通电到一个预偏置输出，而无需放电。HY4644 通过强制非连续模式 (DCM) 工作，直到 TRACK/SS 引脚电压达到 0.6V 参考电压来实现这一点。这将防止 BG 在预偏置输出启动期间开启，从而放电输出。这将防止 BG 在预偏置输出启动期间开启，从而放电输出。不要在输出电压高于 $INTV_{CC}(3.3V)$ 时预偏置 HY4644。

4.13 过温保护

内部过温保护装置可监控模块的结温。如果结温达到约 160°C ，则电源开关将被关闭，直到温度下降约 15°C 。

4.14 低输入应用

HY4644 调节器的每个通道都有一个单独的 SV_{IN} 引脚，使其与低至 2.375V 的输入电压下的操作兼容。 SV_{IN} 引脚是调节器控制电路的信号输入端，而 V_{IN} 引脚是直接连接到顶部 MOSFET 的漏极的电源输入端。在大多数输入电压范围从 4V 到 14V 的应用中，将

SV_{IN} 引脚直接连接到每个调节器通道的 V_{IN} 引脚。可选滤波器由 SV_{IN} 和 V_{IN} 接地之间的电阻（1Ω 到 10Ω）组成，可用于额外的抗噪性。在低输入电压(2.375V 至 4V)应用中，或为了减少内部偏置 LDO 的功耗，使用 0.1 μF 旁路电容将 SV_{IN} 连接到高于 4V 的外部电压。图 5 显示了一个低输入电压应用程序的示例。请注意，SV_{IN} 电压不能低于 V_{OUT} 电压。

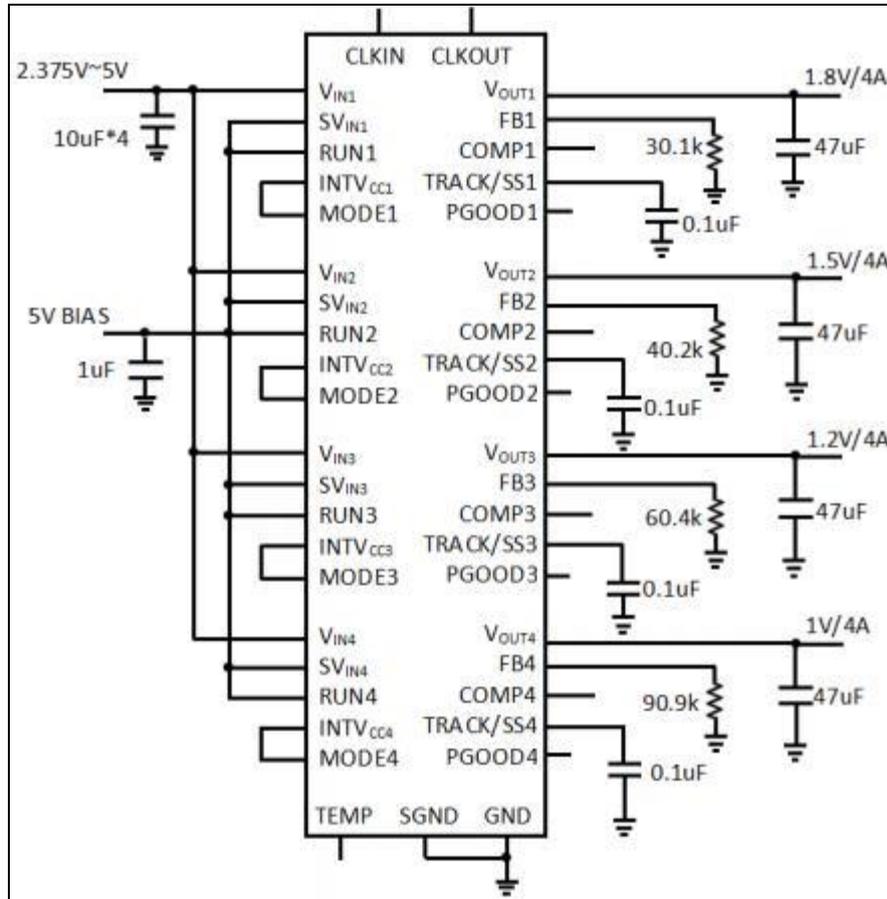


图 5 2.375V 至 5V 输入，四通道输出 1V、1.2V、1.5V、1.8V

4.15 温度监控

一个二极管连接的 PNP 晶体管通过监测其电压超过温度而用于 TEMP 监测功能。该二极管电压的温度依赖性可以理解为：

$$V_D = nV_T \ln \left\{ \frac{I_D}{I_S} \right\}$$

其中 V_T 为热电压(kT/q)，对于在 HY4644 中使用的二极管连接的 PNP 晶体管，理想因数 n 为 1。I_S 用典型的经验方程表示：

$$I_S = I_O \exp\left(\frac{-V_{GO}}{V_T}\right)$$

其中 I_0 是工艺和几何相关的电流(I_0 在室温下通常比 I_S 大 20k 数量级), V_{GO} 是 1.2V 外推到绝对 0 度或 -273 °C 的带隙电压。如果我们把 I_S 方程代入 V_D 方程, 那么我们得到:

$$V_D = V_{GO} - \left(\frac{kT}{q}\right) \ln\left(\frac{I_O}{I_D}\right), \quad V_T = \frac{kT}{q}$$

上式表明, 随着温度的升高和二极管电流的恒定, 二极管电压下降 (如果 I_0 恒定, 呈线性下降)。图 4 显示了 HY4644 工作温度范围内 V_D 与温度的关系图。如果我们取

这个方程并将其与温度 T 进行微分, 那么:

$$\frac{dV_D}{dT} = -\frac{V_{GO} - V_D}{T}$$

该 dV_D/dT 项是温度系数, 约等于 -2mV/K 或 -2mV/°C。该方程简化为一阶导数。

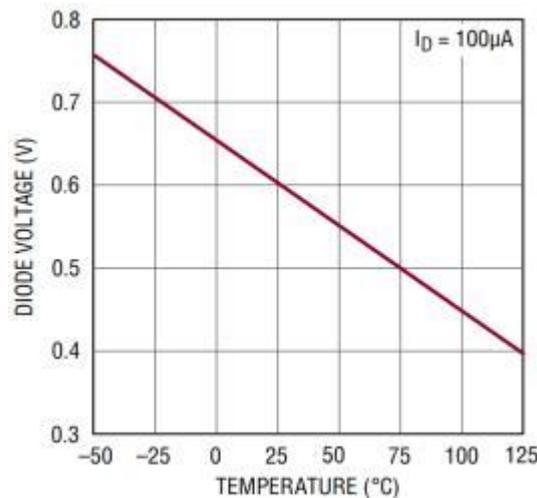


图 6 二极管电压 V_D 与温度 $T(^{\circ}\text{C})$ 关系

求解 T :

$$T = -(V_{GO} - V_D) / (dV_D/dT)$$

第一个示例: 图 6 对于 27 °C 或 300K, 二极管电压为 0.598V, 因此

$$300K = -(1200mV - 598mV) / (-2.0mV/K)$$

第 2 个示例: 图 6 对于 75 °C 或 350K, 二极管电压为 0.50V, 因此

$$350K = -(1200mV - 500mV) / (-2.0mV/K)$$

将开尔文转换为摄氏温度只需取开尔文温度减去 273 即可。在数据表的电气特性部

分给出了一个典型的正向电压，图 7 是该正向电压的曲线图。在 27°C 处测量此正向电压，以建立一个参考点。然后，使用上述表达式，在测量正向电压超过温度时，将提供一个通用的温度监测器。在 TEMP 和 V_{IN} 之间连接一个电阻器，将电流设置为 100 μA。其中的一个示例如下图所示。

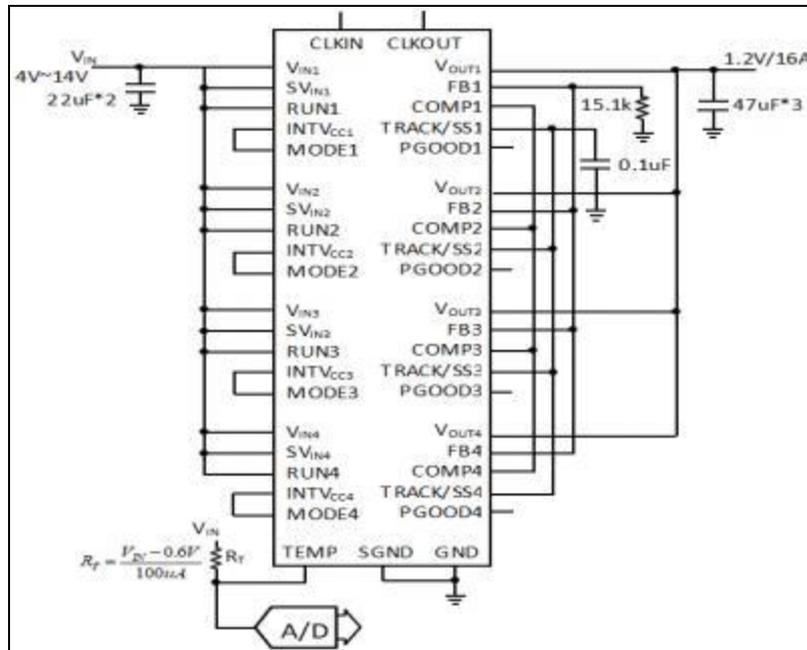


图 7 4V 到 14V 输入，4 相，1.2V/16A 设计与温度监测

4.16 典型应用

4.16.1 应用原理图

输出模块输入端离电源电压较远时，输入端应放置 22μF~100μF 陶瓷电容，输出电容典型值为 66μF~100μF。若想获得更低纹波及更小的压降，可在增加输出电容容量时采用多电容并联方式。

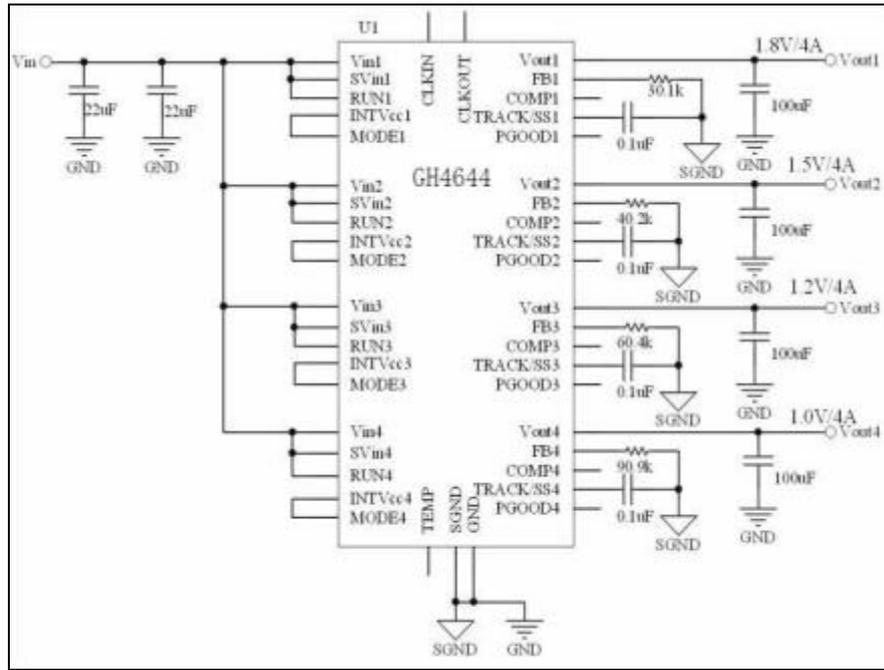


图 8 输入 12V，四路（1.8V/4A、1.5V/4A、1.2V/4A、1.0V/4A）

4.16.2 多通道并联操作

对于需要 4A 以上输出电流的应用，可以将 HY4644 的多个稳压器通道并联起来使用。HY4644 在 4 个稳压器的通道的每两个之间有预设的内置相移，这适合采用一种 2+2，3+1 或 4 通道并联操作，稳压器通道之间的相位差如下表所示：

表 5

通道	CH1	CH2	CH3	CH4
相位差		180°	90°	180°

图 9 是用于时钟相位的 2+2 和 4 通道并联示意图：

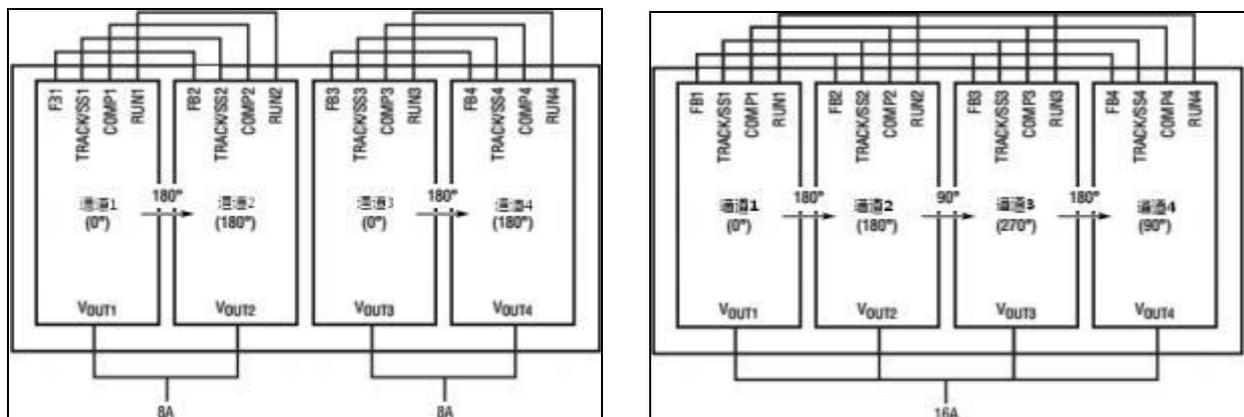


图 9 2+2 和 4 通道并联示意图

多相电源显著降低了输入和输出电容器中的纹波电流量。RMS 输入纹波电流减少，有效纹波频率乘以所使用的相数（假设输入电压大于所用相数乘以输出电压）。当所有输出被连接在一起以实现单个的高输出电流设计时，输出纹波幅度也会因使用的相位数而降低。HY4644 本质上是一个电流模式控制设备，因此并联模块将具有很好的均流。这将平衡设计上的热量。将每个并联通道的 RUN、TRACK/SS、FB 和 COMP 引脚连接在一起。下图显示了一个并联操作和引脚连接的示例。

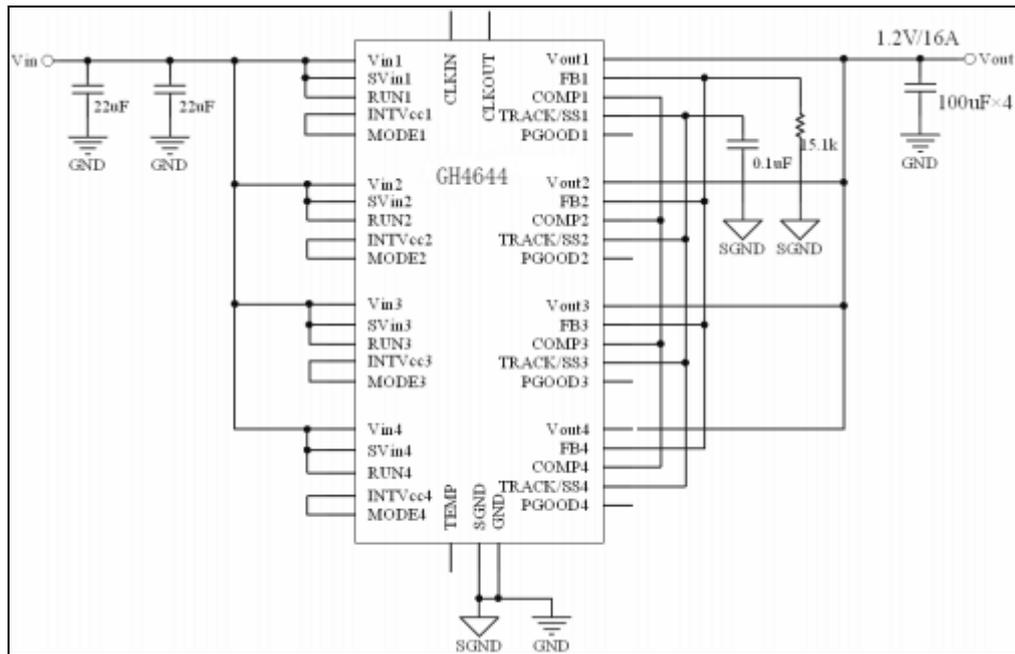
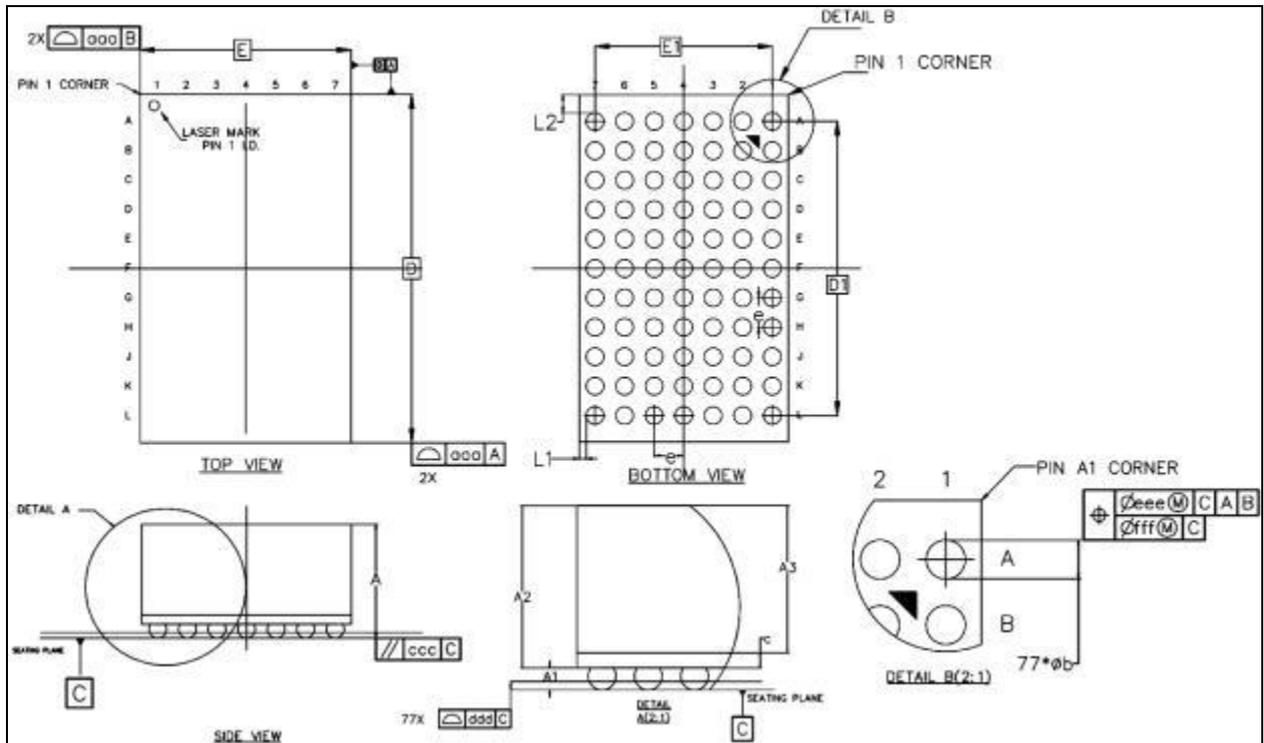


图 10 输入 4V~14V，四路并联，1.2V/16A 输出

5 封装信息

该产品采用 P-BGA77 封装，外形及尺寸如下图所示，图示单位为mm：



符号	尺寸				符号	尺寸			
	最小值	公称值	最大值	单位		最小值	公称值	最大值	单位
A	4.93	5.01	5.09	mm	e	-	1.27	-	mm
A1	0.55	0.60	0.65	mm	b	0.71	0.76	0.81	mm
A2	4.36	4.41	4.46	mm	L1	-	0.31	-	mm
A3	-	4.00	-	mm	L2	-	0.77	-	mm
c	0.38	0.41	0.44	mm	aaa	-	0.20	-	mm
D	14.90	15.00	15.10	mm	ccc	-	0.12	-	mm
D1	-	12.70	-	mm	ddd	-	0.22	-	mm
E	8.90	9.00	9.10	mm	eee	-	0.20	-	mm
E1	-	7.62	-	mm	fff	-	0.12	-	mm

图 11 封装外形及尺寸示意图

6 订购指南

订货型号	温度范围	质量等级	封装形式
HY4644MM1E	- 55°C~ + 125°C	GJB 10164 - M1 级	P-BGA77
HY4644FM1E	- 55°C~ + 105°C	GJB 10164 - M1 级	P-BGA77
HY4644EM2E	- 40°C~ + 85°C	GJB 10164 - M2 级	P-BGA77