-30V、-500mA 超低噪声线性稳压电源

产品特性

- 超低 RMS 噪声：1.95μV_{RMS}（10Hz 至 100kHz）
- 超低点噪声：3.8nV/√Hz(在 10kHz)
- 超高 PSRR：97dB(在 10kHz)
- 输出电流：500mA
- 宽输入电压范围：-1.8V 至 -30V
- 单个 SET pin 电容改善噪声和 PSRR
- 100μA SET 引脚电流：±1% 初始精度
- 单个 SET pin 电阻器设置输出电压
- 可编程电流限值
- 低压差电压：160mV
- 输出电压范围：-1.2V 至 VIN - V_{DO}
- 可编程电源良好
- 快速启动能力
- 高精度使能/欠压闭锁
- 最小输出电容：10μF(陶瓷)
- 3mmx3mm DFN 封装和兼容 12 引脚 MSOP 的 DFN 封装

典型应用

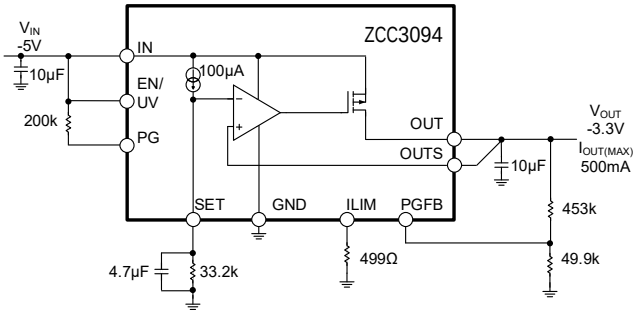


图 1. -3.3V 输出典型应用

应用

- RF 电源和精密电源
- 超低噪声仪表
- 高速/高精度数据转换器
- 医疗成像、诊断
- 用于开关电源的后置稳压电源

概述

ZCC3094可在 235mV 典型的压差电压下可提供 500mA 电流。正常工作静态电流标称值为 1.8mA，停机模式下降至 3μA。该器件能够在输出电压范围宽（-1.2V 至 VIN - V_{DO}）内保持单位增益工作，可提供几乎恒定的输出噪声、PSRR、带宽和负载调整率，且这些性能与编程输出电压无关。其他特性包括双极性使能引脚、可编程电流限制、快速启动能力以及用于指示输出电压调节的可编程电源良好指示功能。该稳压器还集成了跟踪功能，可控制上游电源，以保持 ZCC3094两端的电压恒定，从而最小化功耗并优化 PSRR。ZCC3094能够在采用 10μF(最小值)陶瓷输出电容的情况下实现稳定。内置保护功能电路包括内部电流限制和过热保护。

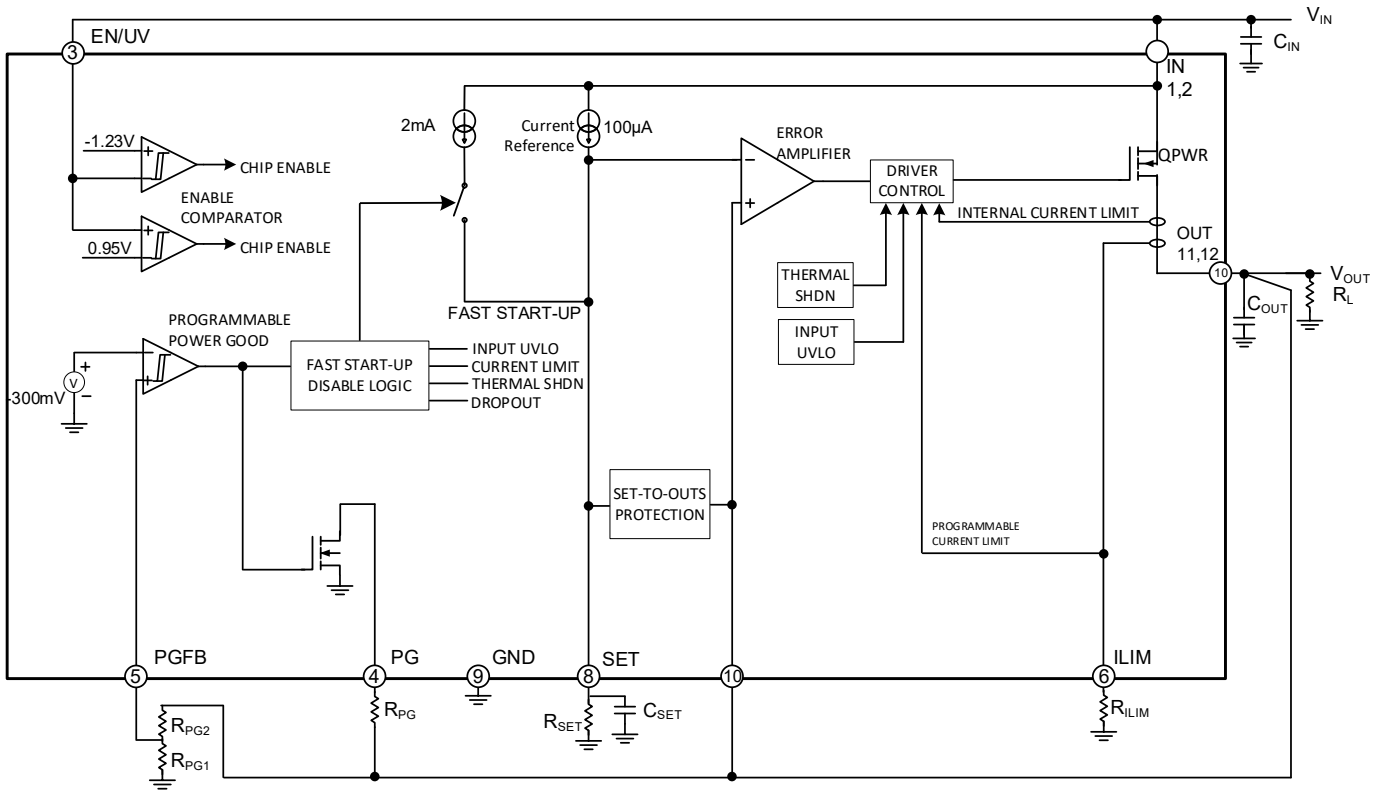
目录

产品特性 1
应用 1
典型应用 1
概述 1
目录 2
版本历史 2
功能框图 3
引脚配置 4
电气特性 5
绝对最大额定值 7
热阻 7
典型性能参数 8
工作原理 11
输出电压 11
输出检测与稳定性 11
稳定性与输出电容 11
高振动环境 12
稳定性与输入电容 12
电源抑制比（PSRR）与输入电容 12
滤除高频尖峰信号 13
输出噪声 13
SET 引脚（旁路）电容：噪声、电源抑制比、瞬态响应和软启动 13
快速启动 13
使能/UVLO 13
可编程电源正常指示 13
外部可编程电流限制 13
输出过冲恢复 14
直接并联以获得更大电流 14
印刷电路板布局注意事项 14
热学方面的考虑 14
计算结温 14
过载恢复 15

版本历史

7/25—Rev.0：初稿

功能框图


EN/UV
3
V_{IN}
C_{IN}
IN
1,2
-1.23V
CHIP ENABLE
ENABLE
COMPARATOR
0.95V
CHIP ENABLE
2mA
Current
Reference
100µA
ERROR
AMPLIFIER
DRIVER
CONTROL
QPWR
INTERNAL CURRENT LIMIT
OUT
11,12
10
V_{OUT}
R_L
C_{OUT}
THERMAL
SHDN
INPUT
UVLO
FAST START-UP
PROGRAMMABLE
POWER GOOD
-300mV
FAST START-UP
DISABLE LOGIC
INPUT UVLO
CURRENT LIMIT
THERMAL SHDN
DROPOUT
SET-TO-OUTS
PROTECTION
PROGRAMMABLE
CURRENT LIMIT
PGFB
PG
GND
SET
ILIM
5
4
9
8
10
6
R_{PG2}
R_{PG1}
R_{PG}
R_{SET}
C_{SET}
R_{ILIM}

引脚配置

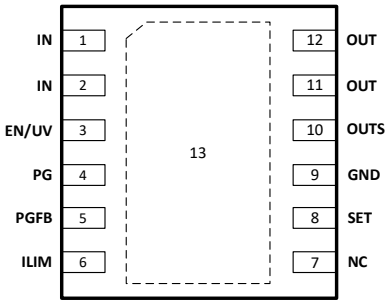


图 2. 引脚配置(顶视图)

引脚号	引脚名	描述
IN	1、2，13	这些引脚为调节器供电。ZCC3094 的 IN 引脚需要一个旁路电容。一般来说，电池的输出阻抗会随频率升高而增大，所以在电池供电的应用中需要接入旁路电容。通常情况下，10 µF 的输入旁路电容就足够了，但对于存在较大负载瞬变的应用，可能需要更大的输入电容来防止输入电源电压下降。有关输入电容的正确使用及其对电路性能的影响，请参考 “应用信息” 部分。
EN/UV	3	将 ZCC3094 的 EN/UV 引脚拉低会使器件进入关断状态。关断时的静态电流降至 3µA，输出电压关闭。另外，EN/UV 引脚可以通过在 IN、EN/UV 和 GND 之间连接一个电阻分压器来设置输入电源欠压锁定（UVLO）阈值。EN/UV 引脚是双向的，可以用正电压或负电压进行切换。当 EN/UV 电压高于地电位 1.23V（下降沿有 220 mV 的迟滞）或低于地电位 0.95V（有 175mV 的迟滞）时，ZCC3094 通常会开启。如果不使用该引脚，将 EN/UV 引脚连接到 IN 引脚。不要让 EN/UV 引脚悬空。
PG	4	PG 是一个集电极开路标志引脚，用于指示输出电压调节状态。如果 PGFB 引脚的电压在 0 V 和 - 300 mV 之间，PG 引脚会拉低。如果不需要电源正常指示功能，可以让 PG 引脚悬空。即使 ZCC3094 处于关断状态，PG 标志的状态仍然有效，此时 PG 引脚会被拉低。
PGFB	5	当 PGFB 引脚电压在上升沿低于 - 300 mV 时，PG 引脚会拉高，下降沿有 28 mV 的迟滞。在 OUT、PGFB 和 GND 之间连接一个外部电阻分压器，通过以下传递函数设置可编程的电源正常阈值：$–0.3V \cdot (1 + R_{PG1}/R_{PG2}) – I_{PGFB} \cdot R_{PG1}$。如 “应用信息” 部分所述，PGFB 引脚还会激活快速启动电路。如果不需要电源正常指示和快速启动功能，将 PGFB 引脚连接到 IN 引脚
ILIM	6	在 ILIM 和 GND 之间连接一个电阻来设置限流值。为了获得最佳精度，应采用开尔文连接方式将该电阻直接连接到 ZCC3094 的 GND 引脚。编程比例系数标称值为 0.7A・kΩ。如果不需要可编程限流功能，将 ILIM 引脚连接到 GND 引脚。不要让 ILIM 引脚悬空。
NC	7	内部无连接。需浮空。
SET	8	该引脚是误差放大器的反相输入端，也是 ZCC3094 的调节设定点。SET 引脚会吸收精确的 100µA 电流，该电流流过连接在 SET 和 GND 之间的外部电阻。ZCC3094 的输出电压由 VSET = ISET・RSET 确定。输出电压范围为 -1.2V到 $VIN - V_{DO}$。在 SET 和 GND 之间添加一个电容可以改善噪声、电源抑制比和瞬态响应，但会增加启动时间，除非通过 PGFB 引脚使用快速启动功能。为了获得最佳的负载调节性能，应采用开尔文连接方式将 SET 引脚的接地端直接连接到负载。
GND	9	接地。
OUTS	10	该引脚是误差放大器的同相输入端。为了获得最佳的瞬态性能和负载调节性能，应采用开尔文连接方式将 OUTS 引脚直接连接到输出电容和负载。此外，应将输出电容和 SET 引脚电容的接地端直接连接在一起。由于磁耦合效应可能会导致电源抑制比下降，因此在放置输入电容相对于输出电容的位置时要小心；有关电容放置和电路板布局的更多信息，请参考 “应用信息” 部分。ZCC3094 的 OUTS 引脚和 IN 引脚之间存在一个寄生衬底二极管；在正常工作或故障情况下，不要使 OUTS 引脚的电压比 IN 引脚低超过 0.3 V。
OUT	11，12	该引脚为负载供电。为了保证稳定性，应使用最小容量为 10µF、等效串联电阻（ESR）低于 30 毫欧、等效串联电感（ESL）低于 1.5 nH 的输出电容。较大的负载瞬变需要更大的输出电容来限制峰值电压瞬变。有关输出电容的更多信息，请参考 “应用信息” 部分。ZCC3094 的 OUT 引脚和 IN 引脚之间存在一个寄生衬底二极管；在正常工作或故障情况下，不要使 OUT 引脚的电压比 IN 引脚低超过 0.3 V。

电气特性

除非另有说明，V_{IN} = min(V_{OUT} - 1V, -1.8 V), I_{OUT}=10mA, C_{IN}=C_{OUT}=10μF, T_J = -55°C 至+125°C（对于最小值/最大值规格），T_A=25°C（对于典型规格）。

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
输入电压范围	I_{LOAD} =500mA	-30		-1.8	V
最小 IN 引脚电压（注 8）	I_{LOAD} =500mA，V_{IN} 欠压闭锁上升	-1.78	-1.65		V
	V_{IN} 欠压闭锁迟滞		180		mV
SET 引脚电流（I_{SET}）	V_{IN}=−2.3V，$I_{LOAD=}$1mA，V_{OUT}=−1.5V	99	100	101	μA
	-30V <V_{IN}< -2.3V， -29.5V <V_{OUT}< -1.2V，1mA <$I_{LOAD=}$< 500mA（注 7）	98	100	102	μA
快速启动 SET 引脚电流	V_{PGFB}=−286mV，V_{IN}=−2.3V，V_{SET}=−1.5V		10		mA
输出失调电压 V_{OS}(V_{OUT}-V_{SET})((注 9）	V_{IN}=−2.3V，I_{LOAD}=1mA，V_{OUT}=−1.5V	-5		2	mV
	-30V <V_{IN}< -2.3V， -29.5V <V_{OUT}< -1.2V，1mA <I_{LOAD}< 500mA（注 7）	-6		3	mV
线性调整率：ΔI_{SET}	V_{IN}=−2.3V 至 -30V，I_{LOAD} = 1mA，V_{OUT}=−1.5V		10		nA/V
线性调整率：ΔV_{OS}（注 9）	V_{IN}=−2.3V 至 -30V，I_{LOAD} = 1mA，V_{OUT}=−1.5V		5		μV/V
负载调节：ΔI_{SET}	I_{LOAD} = 1mA 至 500mA，V_{IN}=−2.3V，V_{OUT}=−1.5V		1.8		nA/mA
负载调节：ΔV_{OS}（注 9）	I_{LOAD} = 1mA 至 500mA，V_{IN}=−2.3V，V_{OUT}=−1.5V		2		mV
I_{SET} 随 V_{SET} 的变化	V_{SET} = −1.2V 至 -29.5V，V_{IN} = −30V，I_{LOAD} = 1mA		400	900	nA
V_{OS} 随 V_{SET} 的变化（注 9）	V_{SET} = −1.2V 至 -29.5V，V_{IN} = −30V，I_{LOAD} = 1mA		0.4	3	mV
压差电压（注 10）	I_{LOAD} =50mA		129	160	mV
	I_{LOAD} =100mA		135	190	mV
	I_{LOAD} =500mA		155	220	mV
GND 引脚电流 V_{IN} = $V_{OUT(NOMINAL)}$	I_{LOAD} = 10μA		1.8	2.5	mA
	I_{LOAD} = 1mA		1.9	2.6	mA
	I_{LOAD} = 50mA		2.3	3.2	mA
	I_{LOAD} = 100mA		2.4	3.5	mA
	I_{LOAD} = 500mA		4.0	5.0	mA
输出 RMS 噪声（注 9、12）	I_{LOAD} = 500mA, BW = 10Hz to 100kHz, C_{OUT} = 10μF, C_{SET} = 0.47μF, V_{OUT} = −3.3V		7.6		μVRMS
	I_{LOAD} = 500mA, BW = 10Hz to 100kHz, C_{OUT} = 10μF, C_{SET} = 4.7μF, −29.5V ≤ V_{OUT} ≤ −1.2V		1.95		μVRMS
纹波抑制 V_{IN} - V_{OUT} = 1V（平均）（注 9、12）	V_{RIPPLE} = 500mV_{P-P}, f_{RIPPLE} = 120Hz, I_{LOAD} = 500mA, C_{OUT} = 10μF, C_{SET} = 4.7μF		95		dB
	V_{RIPPLE} = 500mV_{P-P}, f_{RIPPLE} = 10kHz, ILOAD = 500mA, C_{OUT} = 10μF, C_{SET} = 0.47μF		97		dB
	V_{RIPPLE} = 500mV_{P-P}, f_{RIPPLE} = 100kHz, I_{LOAD} = 500mA, C_{OUT} = 10μF, C_{SET} = 0.47μF		68		dB
EN/UV 引脚阈值	正 EN/UV 触发点上升（开启），V_{IN} = -2.3V	1.15	1.23	1.35	V
	负 EN/UV 触发点上升（开启），V_{IN} = -2.3V		-0.95		V
EN/UV 引脚迟滞	正 EN/UV 触发点迟滞，V_{IN} = -2.3V		220		mV
	负 EN/UV 触发点迟滞，V_{IN} = -2.3V		170		mV
EN/UV 引脚电流	$V_{EN/UV}$ = 0V，V_{IN} = -30V	-1		1	μA

参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
	$V_{EN/UV}$ = -30V，V_{IN} = -30V		-18.5		μA
	$V_{EN/UV}$ = 1.5V，VIN = -30V		8		μA
	$V_{EN/UV}$ = 20V，VIN = 0V		25		μA
停机模式静态电流（$V_{EN/UV}$ = 0V）	V_{IN}= -6V，V_{PG} = 开路		3	8	μA
	V_{IN} = -6V，V_{PG} = 开路			10	μA
内部电流限制（注 14）	V_{IN} = -2.3V，V_{OUT} = 0V	550	750		mA
可编程电流限制	编程比例因子：-30V < V_{IN} < -2.3V（注 13）		0.7		A • kΩ
	V_{IN} = -2.3V，V_{OUT} = 0V，R_{ILIM} = 3kΩ		280		mA
	V_{IN} = -2.3V，V_{OUT} = 0V，R_{ILIM} = 10kΩ		66		mA
PGFB 触发点	PGFB 触发点上升	288	300	312	mV
PGFB 迟滞	PGFB 触发点迟滞		28		mV
PGFB 引脚电流	V_{IN} = -2.3V，V_{PGFB} = -300mV		30	100	nA
PG 输出低电压	I_{PG} = 100μA		17	50	mV
PG 漏电流	V_{PG} = 20V			1	μA
热关断	T_J 上升		167		°C
	迟滞		8		°C
启动时间	R_{SET} = 49.9k，$V_{OUT(NOM)}$ = -5V，I_{LOAD} = 500mA，C_{SET} = 0.47μF，V_{IN} = -6V，V_{PGFB} = -6V		55		ms
	R_{SET} = 49.9k，$V_{OUT(NOM)}$ = -5V，I_{LOAD} = 500mA，C_{SET} = 4.7μF，V_{IN} = -6V，V_{PGFB} = -6V		550		ms
	R_{SET} = 49.9k，$V_{OUT\ (NOM)}$ = -5V，I_{LOAD} = 500mA，C_{SET} = 4.7μF，V_{IN} = -6V，R_{PG1} = 50kΩ，R_{PG2} = 700kΩ（快速启动至 V_{OUT} 的 90%）		10		ms

注 1：绝对最大额定值在绝对最大额定值下运行可能会对设备造成永久性损坏。长时间暴露在任何绝对最大额定值条件下可能会影响设备的可靠性和使用寿命。

注 2：寄生二极管在正常工作期间，这些引脚的电压必须高于 IN 引脚。在故障条件下，不要将 EN/UV、ILIM、PG、PGFB、SET、GND、OUTS 和 OUT 引脚的电压驱动到低于 IN 引脚 0.3V 以上。

注 3：ZCC3094 在脉冲负载条件下进行测试并给出规格，使得结温 T_J 近似等于环境温度 T_A。

注 4：SET 和 OUTS 引脚通过二极管和两个 400Ω 串联电阻进行箝位。对于持续时间小于 5ms 的瞬态情况，该箝位电路能够承载超过额定电流的电流。

注 5：必须满足 SET 和 OUTS 引脚的最大电流要求。

注 6：最大的 OUT 与 OUTS 之间的差分电压通过设计得以保证。

注 7：最大结温限制了工作条件。稳压输出电压规格并非适用于所有可能的输入电压和输出电流组合，特别是由于内部电流限制折返特性，当 VOUT – VIN > 7V.时，电流限制开始降低。如果在最大输出电流下工作，则需限制输入电压范围；如果在最大输入电压下工作，则需限制输出电流范围。

注 8：必须满足 EN/UV 引脚阈值，以确保器件正常工作。

注 9：OUTS 直接连接到 OUT。

注 10：压差电压是在指定输出电流下维持稳压所需的最小输入输出电压差。压差电压在输出超出调节范围 1%时进行测量。与在 VIN = VOUT(NOMINAL) 时测量的硬压差相比，该定义会产生更高的压差电压。

注 11：GND 引脚电流是在 VIN = VOUT(NOMINAL)且采用电流源负载的情况下进行测试的。因此，该器件是在压差条件下进行测试的，这是 GND 引脚电流的最坏情况。GND 引脚电流在较高输入电压下会降低。请注意，GND 引脚电流不包括 SET 引脚或 ILIM 引脚电流，但它们包含在静态电流中。

注 12：在 SET 引脚电阻两端添加一个电容可降低输出电压噪声。添加该电容可旁路 SET 引脚电阻的热噪声以及参考电流的噪声，此时输出噪声等于误差放大器噪声。使用 SET 引脚旁路电容也会增加启动时间。

注 13：电流限制编程比例因子是在内部备用电流限制未激活时规定的。请注意，内部电流限制对 VOUT – VIN 差值大于 7V 的情况具有折返保护功能。

注 14：内部备用电流限制电路具有折返保护功能，当 VOUT – VIN > 7V. 时会降低电流限制。在所有 VOUT – VIN 差分电压下都能提供一定水平的输出电流。有关电流限制与 VIN – VOUT 的关系，请参阅典型性能特性图。

绝对最大额定值

表 1:

参数	额定值
IN 至 GND 电压	-32 V 至 0.3 V
ILIM 至 IN 电压	–0.3 V 至 22 V
EN/UV 至 IN 电压	–0.3 V 至 22 V
EN/UV 至 GND 电压	5 V 至 22 V
PG 至 IN 电压	–0.3 V 至 30 V
PG 至 GND 电压	–0.3 V 至 22 V
PGFB 至 IN 电压	–0.3 V 至 30 V
PGFB 至 GND 电压	–32V 至 0.3V
SET 至 IN 电压	–0.3 V 至 32V
SET 至 GND 电压	–32V 至 0.3V
SET 引脚电流	±15mA
OUT 至 IN 电压	–0.3 V 至 32V
OUT 至 GND 电压	–32V 至 0.3V
OUT 至 OUTS 电压	–32V 至 0.3V
OUTS 至 IN 电压	–0.3 V 至 32V
OUTS 至 GND 电压	–32V 至 0.3V
OUTS 引脚电流	±15mA
SET 至 OUTS 电压	±2 V
存储温度范围	–65°C 至+150°C
工作结温	–40°C 至+125°C
焊接条件	JEDEC J-STD-020

注意，超出上述最大额定值可能会导致产品永久性损坏。产品正常工作范围不应超出技术规范章节中所示的规格。长期在超出最大额定值条件下工作会影响产品的可靠性。

热阻

θ_{JA} 针对最差条件，即器件焊接在电路板上以实现表贴封装。

表 2：

封装类型	θ_{JA}	θ_{JC}	单位
DFN-12	35	6	°C/W

典型性能参数

除非另有说明，V_{IN} = 最小值(V_{OUT} - 1V, 1.8 V), I_{OUT} =10mA, C_{SET} = 4.7μF， C_{IN} = C_{OUT} = 10μF。

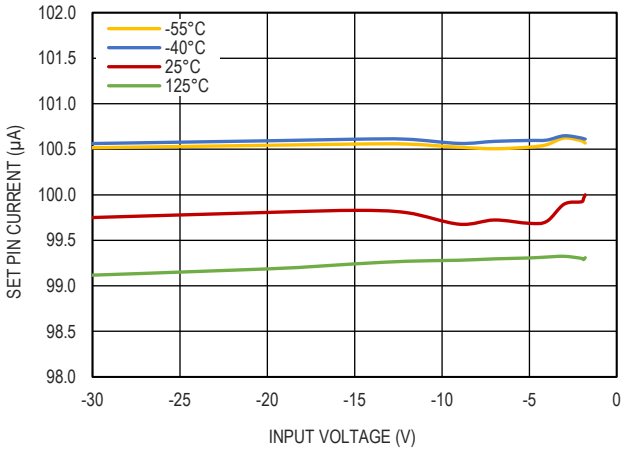


图 3. SET pin 电流和输入电压的关系

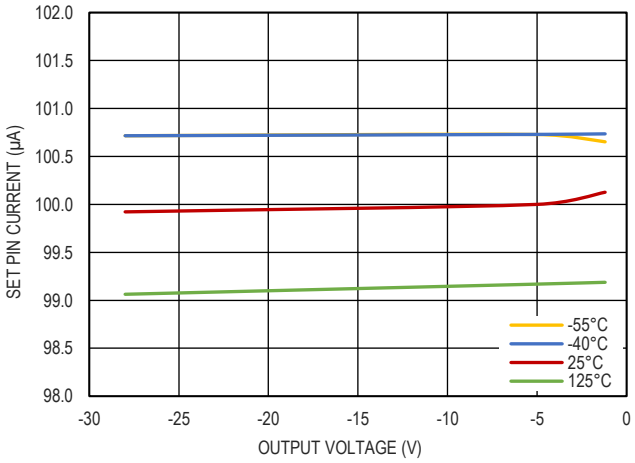


图 4. SET pin 电流和输出电压的关系

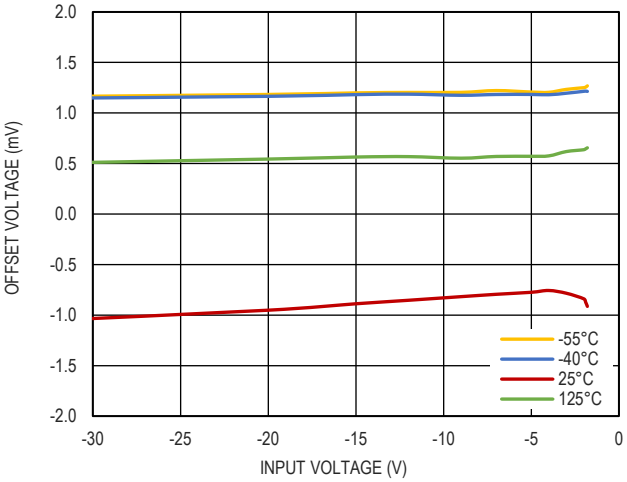


图 5. |V_{OUT}-V_{SET}|和输入电压的关系，V_{OUT}=1.8V

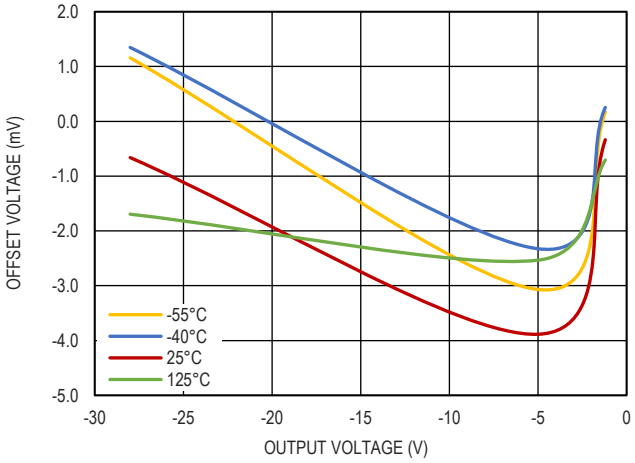


图 6. |V_{OUT}-V_{SET}|和输出电压的关系

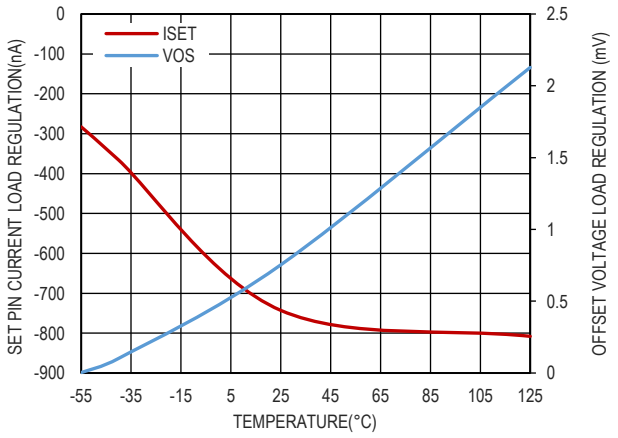


图 7. SET pin 电流 和失调电压的负载调整率和温度的关系

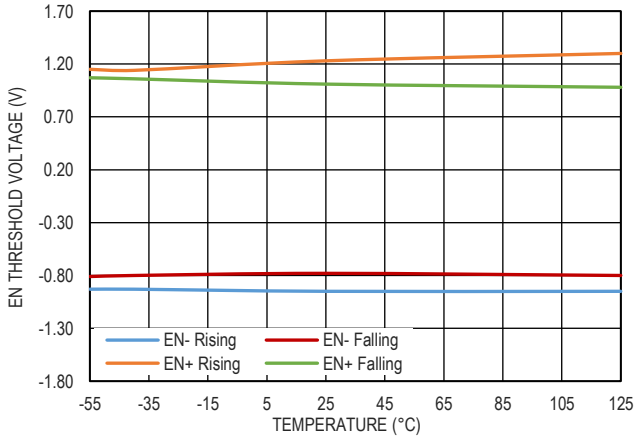


图 8. EN 阈值和温度的关系

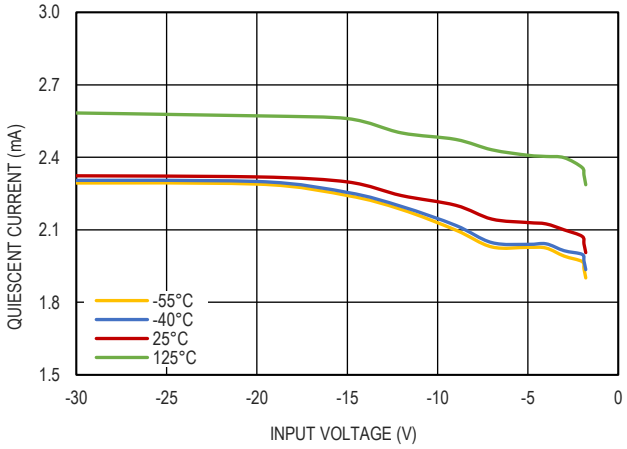


图 9. 静态电流和输入电压的关系，I_{OUT}=10mA

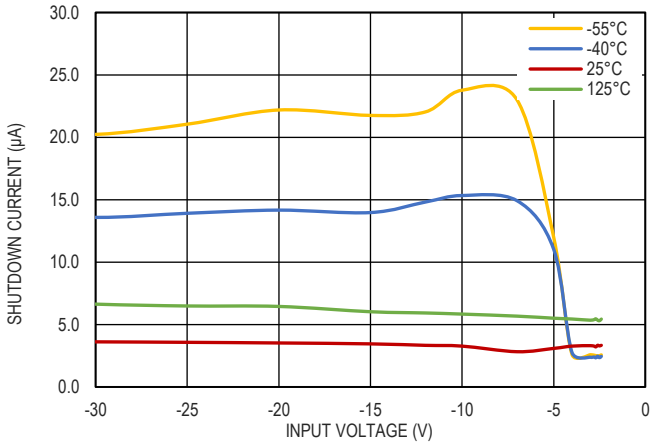


图 10. 停机静态电流和输入电压的关系

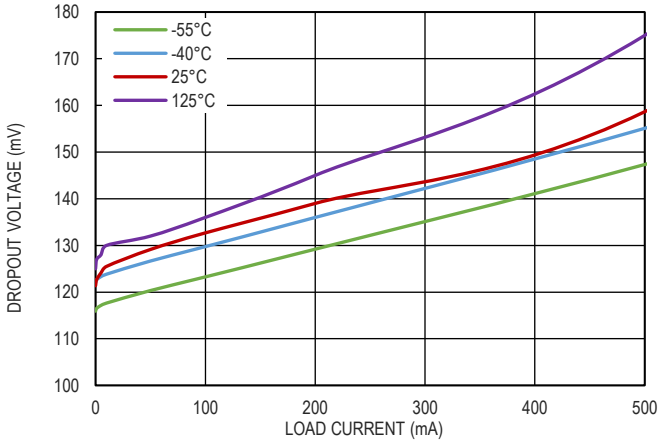


图 11. 压差电压和负载电流的关系，VOUT=-5.0V

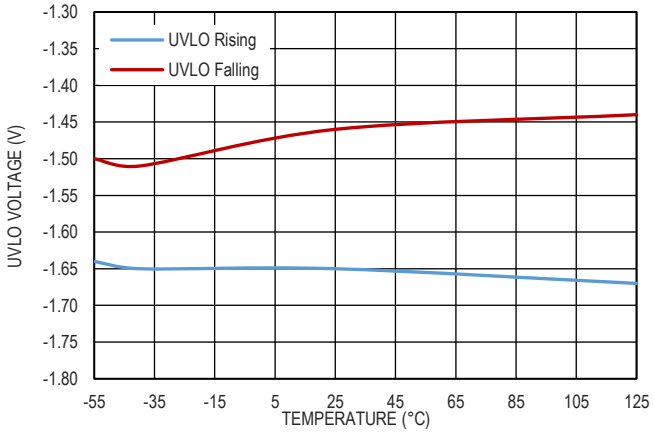


图 12. UVLO 阈值

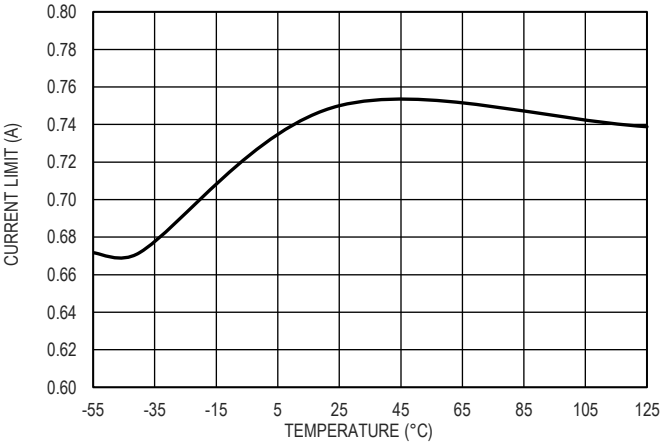


图 13. 输出限流值和温度的关系

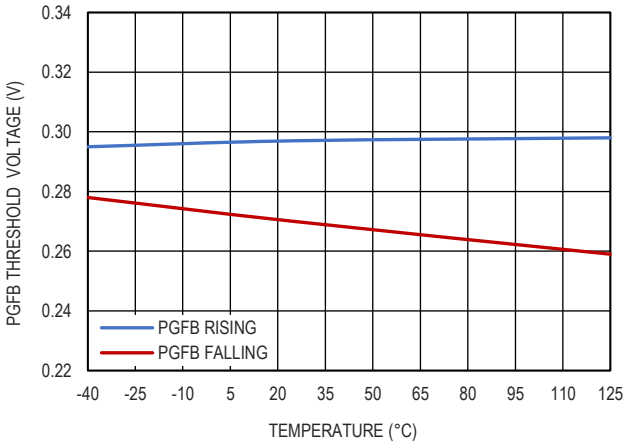


图 14. PGFB 阈值和温度的关系

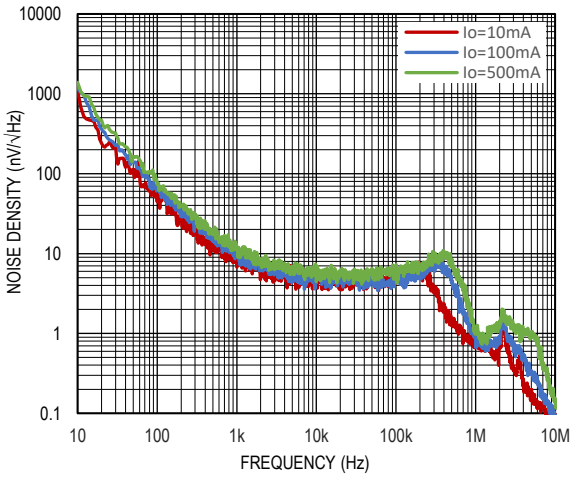


图 15. 输出噪声谱密度，V_{IN}=-4.3V, V_{OUT}=-3.3V

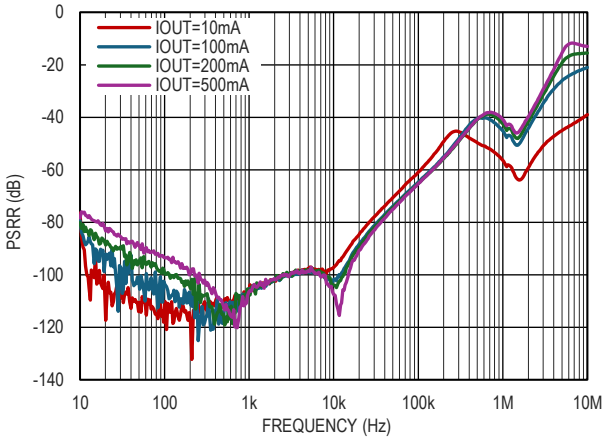


图 16. 电源电压纹波抑制比，V_{IN}=-4V, V_{OUT}=-3.3V

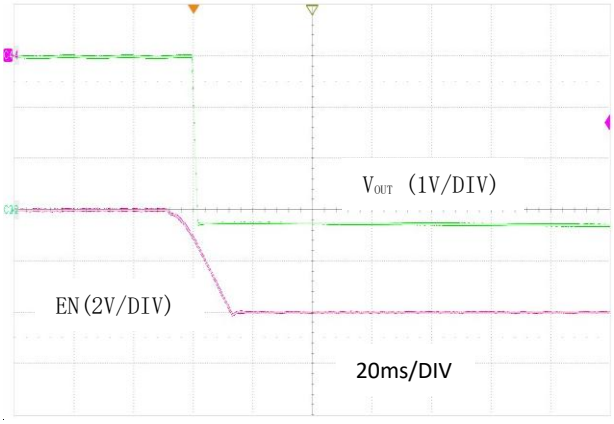


图 17. 软启动， V_{IN}=-4.3V, V_{OUT}=-3.3V，I_{OUT}=500mA

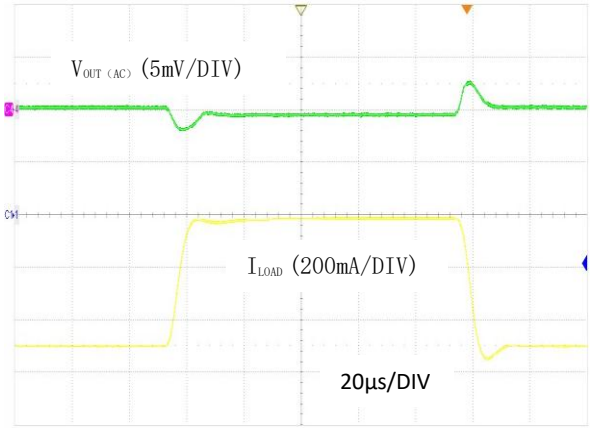


图 18. 负载瞬态响应， V_{IN}=-4.3V, V_{OUT}=-3.3V，I_{OUT}=10mA to 500mA

工作原理

ZCC3094是一款高性能低压差负线性稳压器，采用超低噪声（在 10kHz 时为 3.8nV/√Hz）和超高 PSRR（在10kHz 时为 97dB）架构，专为对噪声敏感的应用供电。
ZCC3094内部设计了一个精密电流基准，后跟一个高性能轨到轨电压缓冲器，它可以很容易地并联使用，以进一步降低噪声、增加输出电流并在 PCB 上散热。该器件还具有可编程电流限制、快速启动能力以及可编程电源良好指示功能。

ZCC3094简单易用,并拥有在高性能稳压器中所需的保护功能。包括短路保护和具迟滞的热停机功能。

输出电压

ZCC3094内置了一个流入 SET 引脚的精密 100μA 电流源，该引脚还连接到误差放大器的反相输入端。如图 19 所示，在 SET 引脚与地之间连接一个电阻会为误差放大器生成一个基准电压。这个基准电压就是 SET 引脚电流与 SET 引脚电阻的乘积。误差放大器的单位增益配置会在其同相输入端（即 OUTS 引脚，在器件外部连接至 OUT 引脚）产生这个电压的低阻抗版本。ZCC3094的输出电压由公式 $V_{SET} = I_{SET} \bullet R_{SET}$ 确定。

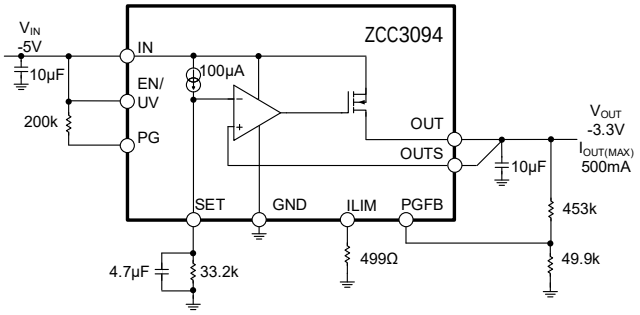


图 19. 输出电压稳压调节

ZCC3094的轨到轨误差放大器和电流基准架构允许实现宽泛的输出电压范围，从-1.2V 至 VIN - V_{DO}，基于 PNP 的输入对在输出电压低于-1.2V 时开始工作。基于 PNP 的输入对提供最佳的整体性能；有关失调电压、SET 引脚电流、输出噪声以及根据输出电压和相应激活输入对而变化的PSRR 详情，请参阅电气特性表。表 3 列出了常见的输出电压及其对应的 1%精度的 RSET 电阻值。

表 3. 常见输出电压对应的 1% 精度电阻

VOUT (V)	RSET (kΩ)
-2.5	24.9
-3.3	33.2
-5	49.9
-12	121
-15	150

相比于传统稳压器中使用电压基准的做法，采用电流基准的好处是稳压器始终工作于单位增益配置，这使得 ZCC3094能够具有不受输出电压影响的环路增益、频率响应和带宽。因此，噪声、PSRR 和瞬态性能不会随输出电压变化。此外，由于不需要误差放大器增益来将 SET 引脚电压放大到更高的输出电压，输出负载调整率能被精确控制在几百微伏的范围内，而不是输出电压的固定百分比。

由于零温漂电流源高度准确，因此在实现高精度的过程中，SET 引脚只需连接一个高精度电阻器。此外，任何通往或源自 SET 引脚的泄露路径都将使输出电压产生误差。如果必要的话，可采用高质量的绝缘 (例如：特富龙、聚三氟氯乙烯)；另外，还可能需要清洁所有的绝缘表面以去除锡焊剂和其他残留物。在高湿度环境中，则有可能要求在 SET 引脚上提供阻湿层。

通过采用一个工作于接近其自身电位的保护环(理想情况下连接至 OUT 引脚)把 SET 引脚包围起来可最大限度地减少电路板泄漏。建议对电路板的两面均加设保护环。大块泄漏的减少取决于保护环的宽度。小至 100nA 的漏电流(流入或流出 SET 引脚)将使基准电压产生 0.1%的误差。如果再加上其他的泄漏源，会在输出电压中引起显著的误差，特别是在宽工作温度范围内。

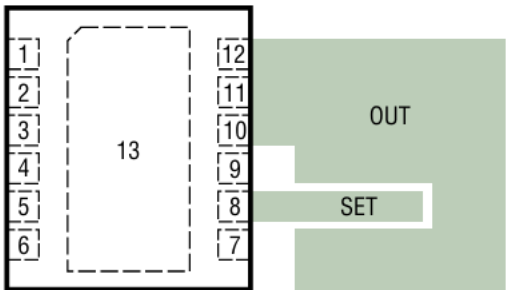


图 20. DFN 封装保护环布局

由于 SET 引脚是一个阻抗非常高的节点，干扰信号有可能耦合到 SET 引脚并导致工作不稳定。当在负载电流较大和输出电容较小的情况下，这种现象更为突出。利用一个小电容 (10nF 就足够了)将 SET 引脚旁路至地可解决此问题。
当采用保护环方法时，对 SET 引脚进行旁路特别重要，因为它实际上消除了 SET 引脚的杂散电容。对于需要高精度或一个可调输出电压的应用，则可由一个能够吸收 100μA 的外部电压源对 SET 引脚进行有源驱动。把一个高精度电压基准连接至 SET 引脚可消除由于基准电流和 SET 引脚电阻所引起的任何误差。

输出检测与稳定性

ZCC3094 的 OUTS 引脚提供了一个至输出的开尔文检测连接。SET 引脚电阻的 GND 端提供了一个至负载的 GND 端的开尔文连接。此外，为实现超高电源抑制比（PSRR），ZCC3094 的带宽被设置得相当高（约 1MHz），这使其非常接近典型的 10μF（1206 封装尺寸）陶瓷输出电容的自谐振频率（约 1.6MHz）。避免在反馈回路之外添加额外阻抗（等效串联电阻 ESR 和等效串联电感 ESL）是非常重要的。

稳定性与输出电容

ZCC3094需要一个输出电容来确保稳定性。鉴于其高带宽特性，推荐使用低等效串联电阻（ESR）和低等效串联电感（ESL）的陶瓷电容。为保证稳定性，至少需要一个 10μF 的输出电容，且其 ESR 需低于 30mΩ，ESL 需低于 1.5nH。

考虑到使用单个 10μF 陶瓷输出电容就能实现高电源抑制比（PSRR）和低噪声性能，更大容量的输出电容对性能的提升作用有限，因为随着输出电容增大，调节器带宽会减小。因此，使用大于 10μF 的最小输出电容所带来的收益甚微。尽管如此，较大容量的输出电容确实能在负载瞬变期间减小峰值输出偏差。请注意，用于对由 ZCC3094 供电的单个组件去耦的旁路电容会增加有效输出电容。

要特别考虑所使用的陶瓷电容的类型。它们由多种电介质制成，每种电介质在不同温度和外加电压下表现各异。最常用的电介质标有 EIA 温度特性代码 Z5U、Y5V、X5R 和 X7R。Z5U 和 Y5V 电介质有利于在小封装中提供高电容，但它们往往具有较强的电压和温度系数。当与 5V 调节器一起使用时，对于在工作温度范围内施加的直流偏置电压，一个 16V 10μF 的 Y5V 电容的有效值可能低至 1μF 到 2μF。 X5R 和 X7R 电介质能带来更稳定的特性，因此更适合与 ZCC3094 一起使用。X7R 电介质在温度范围内具有更好的稳定性，而 X5R 成本较低且可提供更高的电容值。尽管如此，在使用 X5R 和 X7R 电容时仍需谨慎。X5R 和 X7R 代码仅规定了工作温度范围以及电容随温度的最大变化量。虽然 X5R 和 X7R 因直流偏置导致的电容变化比 Y5V 和 Z5U 电介质要好，但仍可能足以使电容降至足够低的水平。

高振动环境

电压和温度系数并非唯一的问题来源。一些陶瓷电容具有压电响应。压电装置由于受到机械应力会在其两端产生电压，这类似于压电麦克风的工作原理。对于陶瓷电容而言，这种应力可由系统内的机械振动或热瞬变引起。

在高振动环境下，ZCC3094 的应用中有三种不同的压电噪声产生源：即输出电容、输入电容和 SET 引脚电容。然而，由于 ZCC3094 在很宽的频率范围内具有极低的输出阻抗，使用陶瓷输出电容时产生的输出噪声微乎其微。同样地，由于 ZCC3094 具有超高的电源抑制比，使用陶瓷输入电容时产生的输出噪声也可忽略不计。鉴于 SET 引脚的高阻抗特性，陶瓷 SET 引脚电容产生的任何压电响应都会导致明显的输出噪声；其峰峰值波动有可能达到数百微伏。不过，由于 SET 引脚电容对等效串联电阻（ESR）和等效串联电感（ESL）的容差要求较高，所以在 SET 引脚上可以使用任何非压电响应的电容（钽电容、电解电容或薄膜电容）；但要注意，电解电容往往具有较高的 1/f 噪声。无论如何，强烈建议使用表面贴装电容。

稳定性与输入电容

ZCC3094 在输入引脚连接至少 10μF 的电容时能保持稳定。建议使用低等效串联电阻（ESR）的陶瓷电容。如果在应用中使用长导线将电源连接到 ZCC3094 的输入和接地端子，并且搭配低 ESR 的陶瓷输入电容，那么这种情况容易产生电压尖峰、可靠性问题以及特定应用电路板的振荡现象。导线电感与低 ESR 的陶瓷输入电容结合会形成一个高 Q 值的谐振 LC 储能电路。在某些情况下，这个谐振频率会与低压差线性稳压器（LDO）的输出电流带宽产生拍频现象，并干扰其稳定运行。由导线电感和输入电容形成的谐振 LC 储能电路才是产生这些问题的原因，而并非是 ZCC3094 本身不稳定。 导线的自感，或称为隔离电感，与它的长度成正比。然而，导线的直径对其自感的影响较小。例如，直径为 0.26 英寸的 2 号线规隔离导线的自感大约是直径为 0.01 英寸的 30 号线规导线自感的一半。1 英尺长的 30 号线规导线的自感为 465 nH。

存在几种降低导线自感的方法。一种方法是将流向 ZCC3094 的电流分流到两根平行导体之间。在这种情况下，将导线放置得相距更远可以降低电感；当两根导线仅相距几英寸时，电感最多可降低 50%。将导线分开相当于把两个相等的电感并联起来。然而，当两根导线彼此靠得很近时，它们之间的互感会增加导线的总自感，因此在这种情况下无法实现 50% 的电感降低。 降低总电感的第二种且更有效的方法是让正向和回流电流导体（即输入线和接地线）紧密靠近。两根相距 0.02 英寸的 30 号线规导线可将总电感降低到单根导线电感的约五分之一。 如果 ZCC3094 由安装在附近的电池供电，一个 10μF 的输入电容就足以保证稳定性。如果电源距离较远，则需要使用更大容量的输入电容。大致的参考准则是，每 6 英寸的导线长度（除了至少 10μF 的电容外）额外增加 1μF 的电容。使应用稳定所需的最小输入电容也会随着输出电容以及负载电流而变化。在 ZCC3094 的输出端增加额外的电容会有帮助。然而，与增加输入旁路电容相比，这需要显著更多的电容。 在电源和 ZCC3094 的输入端之间串联电阻也有助于使应用稳定，只需 0.1Ω 到 0.5Ω 就足够了。这种阻抗会抑制 LC 储能电路，但代价是会增加压差电压。更好的替代方法是在 ZCC3094 的输入端使用一个较高等效串联电阻（ESR）的钽电容或电解电容，与一个 10μF 的陶瓷电容并联。

电源抑制比（PSRR）与输入电容

对于利用 ZCC3094 对开关转换器进行后置稳压的应用，在 ZCC3094 的输入端直接放置一个电容会导致交流电流（处于开关频率）在 ZCC3094 附近流动。这种相对高频的开关电流会产生磁场，该磁场会耦合到 ZCC3094 的输出端，从而降低有效电源抑制比（PSRR）。尽管这在很大程度上取决于印刷电路板（PCB）的布局、前置开关稳压器、输入电容的大小以及其他因素，但在 1MHz 时，电源抑制比的下降很容易超过 30 dB。即使将 ZCC3094 从电路板上拆焊下来，这种性能下降仍然存在，这是印刷电路板本身的电源抑制比的下降。对于传统的低电源抑制比低压差线性稳压器（LDO）来说，这种下降可以忽略不计，但 ZCC3094 具有超高的电源抑制比，因此需要仔细关注高阶寄生效应，以便充分发挥该稳压器所提供的性能。

为了减少高频开关电流在 ZCC3094 附近流动，只要开关转换器的输出电容距离 ZCC3094 超过一英寸，就可以完全移除输入电容。磁耦合会随着距离的增加而迅速减弱。如果开关稳压器放置得离 ZCC3094 太远（保守估计超过几英寸），缺少输入电容会使 ZCC3094 的输入端呈现高阻抗，进而可能发生振荡。

寄生走线电感与低等效串联电阻（ESR）的陶瓷输入电容相结合，可能会使低压差线性稳压器（LDO）输入端的纹波高于驱动电源输出端的纹波。此外，实际的环路会产生磁场，该磁场会从输入端耦合到输出端。ZCC3094 演示板采用了一些布局技术，既能将走线中的寄生电感降至最低，又能减少磁环的耦合，从而在保留输入电容的同时避免电源抑制比下降。

滤除高频尖峰信号

对于采用 ZCC3094 对开关转换器实施后置稳压的应用，该器件的高 PSRR 可有效地抑制存在于开关电源之开关频率(通常为 100kHz 至 4MHz)上的任何“噪声”。然而，与开关电源的电源开关转换时间相关联的非常高频率(达几百 MHz)的“尖峰”(超出了 ZCC3094 的带宽范围)几乎将直接穿过 ZCC3094 。虽然输出电容器部分地用于吸收这些尖峰，但是在这些频率上的 ESL 将限制它的吸收能力。一个铁氧体磁珠或者是由开关电源的输出与 ZCC3094 的输入之间的简短(例如：1cm)PCB 印制线所引起的电感都能够充当一个 LC 滤波器，进而抑制这些高频尖峰。

输出噪声

ZCC3094在噪声性能方面具有诸多优势。传统的线性稳压器存在多种噪声源。对于传统稳压器而言，最关键的噪声源包括其电压基准、误差放大器、用于设置输出电压的电阻分压器网络产生的噪声，以及该电阻分压器带来的噪声增益。许多低噪声稳压器会将其电压基准引脚引出，以便通过对基准电压进行旁路来降低噪声。 与大多数线性稳压器不同，ZCC3094不使用电压基准，而是采用了一个100μA 的电流基准。传统线性稳压器面临的一个问题是，设置输出电压的电阻分压器会放大基准噪声。相比之下，ZCC3904的单位增益跟随器架构从 SET 引脚到输出端不存在增益。因此，使用一个电容对 SET 引脚电阻进行旁路，可使输出电压噪声与编程设定的输出电压无关。这样一来，最终的输出噪声仅由误差放大器的噪声决定。当使用 4.7μF 的 SET 引脚电容时，在 1kHz 至 1MHz 范围内，典型噪声为5nV/√Hz ，在 10Hz 至 100kHz 的带宽内，均方根噪声为1.95μVRMS。将多ZCC3094并联，可使噪声进一步降低√N（N 为并联的稳压器数量）。 有关在各种负载电流和SET 引脚电容情况下的噪声频谱密度和均方根积分噪声性能，请参考“典型性能特性”部分。

SET 引脚（旁路）电容：噪声、电源抑制比、瞬态响应和软启动

除了降低输出噪声外，使用 SET 引脚旁路电容还能改善电源抑制比（PSRR）和瞬态性能。需要注意的是，任何旁路电容的泄漏都会降低 ZCC3094的直流调节性能。即使只有 100nA 的电容泄漏电流，也会导致 0.1%的直流误差。ADI公司建议使用高质量的低泄漏陶瓷电容。 使用 SET 引脚旁路电容还能实现输出的软启动，并限制涌入电流。由SET引脚电阻和电容形成的 RC 时间常数决定了软启动时间。在不使用快速启动功能的情况下，从 0 到标称输出电压VOUT 的90%的上升速率为：$t_{SS} \approx 2.3 \bullet R_{SET} \bullet C_{SET}$（快速启动功能禁用时）

快速启动

对于要求低 1/f 噪声（即在 100Hz 以下的频率）的超低噪声应用，需要使用更大容量的 SET 引脚电容，最大可使用 22μF 的电容。通常情况下，这会显著增加稳压器的启动时间，但 ZCC3094集成了快速启动电路，在启动期间可将SET 引脚电流增加到约 1.8mA。 如方框图所示，只要PGFB引脚电压大于-300mV，1.8mA 的电流源就会一直工作，除非稳压器处于电流限制、dropout、热关断状态，或者输入电压低于最小输入电压 VIN。 如果不使用快速启动功能，可将 PGFB 引脚连接到 IN 引脚或 OUT 引脚（对于输出电压小于-300mV 的情况）。请注意，这样做也会禁用电源正常指示功能。

使能/UVLO

EN/UV 引脚用于把稳压器置于一种微功率停机状态。ZCC3094的 EN/UV 引脚具有精确的-0.95V 导通阈值，并带有 175mV 的迟滞电压。该阈值可与来自输入电源的电阻分压器配合使用，为稳压器设定精确的欠压锁定（UVLO）阈值。在计算电阻分压器网络时，需要考虑处于该阈值下的 EN/UV 引脚电流（I_{EN}）。有关 EN/UV 引脚的特性，请查阅电气特性表和典型性能曲线。 如果 R_{EN1} 小于 100kΩ，则 EN/UV 引脚电流可以忽略不计。可使用以下公式来确定电阻分压器的阻值（请参阅典型应用部分中的“编程欠压锁定”）：

$$V_{IN(UVLO)} = -0.95V \times \left(1 + \frac{R_{EN2}}{R_{EN1}}\right) - I_{EN} \times R_{EN2}$$

由于 EN/UV 引脚是双向的，也可以将其拉高至 1.26V 以上来开启 ZCC3904。在双极性电源应用中，可用于 EN/UV 电源稳压器开启后，对 ZCC3094 设置开启顺序。如果不使用该引脚，请将 EN/UV 引脚连接到输入（IN）端。

可编程电源正常指示

如方框图所示，电源正常指示阈值可由用户通过两个外部电阻 RPG1 和 RPG2 的比值进行编程设定：

$$V_{OUT(PG_THRESH)} = -0.3V(1 + R_{PG1}/R_{PG2}) - I_{PGFB} \cdot R_{PG1}$$

如果 PGFB 引脚电压变得小于 -300mV，集电极开路的 PG 引脚将取消有效状态并变为高阻抗。电源正常比较器具有 7mV 的迟滞和 5μs 的去毛刺时间。如果 R_{PG2} 小于 30kΩ，PGFB 引脚电流(I_{PGFB})可以忽略不计，否则在确定电阻分压器网络时必须考虑该电流。如果不使用电源正常指示功能，让 PG 引脚悬空。请注意，对于输出电压在 0V 和 -300mV 之间的情况，可编程电源正常指示和快速启动功能将被禁用。 在印刷电路板（PCB）上对 PG 和 PGFB 引脚的走线进行布局时要小心。如果 PG 和 PGFB 引脚在一段距离内（通常大于两英寸）彼此靠近走线，走线之间的杂散电容会将 PG 信号耦合到高阻抗的 PGFB 信号中。由于 PG 信号相对于 PGFB 信号是反相的，这会导致振荡。为避免这种情况，要尽量缩短两条走线彼此靠近的距离；通过为 PGFB 分压器使用阻值较低的电阻来降低 PGFB 引脚上的阻抗也会有所帮助。

外部可编程电流限制

ILIM 引脚在内部调节至 -300mV。将一个电阻从地连接到 ILIM 引脚可设置流入 ILIM 引脚的电流，进而对 ZCC3094的电流限制进行编程设定。使用 0.7 kΩ·A 的编程比例因子，电流限制可按如下公式计算：

$$\text{Current Limit} = 0.7k\Omega \bullet A / R_{ILIM}$$

例如，一个 3 kΩ 的电阻可将电流限制编程设定为 280mA。为保证精度，应采用开尔文连接方式将该电阻连接到 ZCC3094的接地引脚。

当输入与输出之间的压差大于 7V 时，ZCC3094的折返电路会降低内部电流限制。因此，内部电流限制可能会优先于外部编程设定的电流限制，以确保 ZCC3094处于其安全工

作区（SOA）内。具体可查看“典型性能特性”部分中“内部电流限制与输入至输出压差”的关系图。如果不使用 ILIM 引脚，则将其接地。

输出过冲恢复

在从重载到极轻载或空载的负载阶跃变化过程中，在稳压器做出响应并关闭功率晶体管之前，输出电压会出现过冲现象。在极轻载或空载情况下，要使输出电容放电需要较长时间。 ZCC3094集成了一个过冲恢复电路，当 OUTS引脚电压高于 SET 引脚电压时，该电路会开启一个电流源，让电容进行放电。这个电流通常为 3.5mA。 如果通过外部方式使 OUTS 引脚电压保持在高于 SET 引脚电压的状态，电流源就会开启，试图将 OUTS 引脚电压恢复到其设定的电压值。电流源会一直保持开启状态，直到外部电路不再使 OUTS 引脚电压高于 SET 引脚电压。

直接并联以获得更大电流

通过将多个 ZCC3094并联，可以获得更高的输出电流。将所有的 SET 引脚连接在一起，所有的 IN 引脚也连接在一起。使用小段印刷电路板（PCB）走线（用作镇流电阻）将OUT 引脚连接在一起，以使各个 ZCC3094中的电流均衡。每英寸 PCB 走线的电阻值（单位为 mΩ）见表 4。

表 4. 印刷电路板走线电阻

WEIGHT (oz)	10mil WIDTH	20mil WIDTH
1	54.3	27.1
2	27.1	13.6

走线电阻的计量单位是毫欧每英寸（mΩ/in）

每个并联的 ZCC3094仅存在 2mV 的极小的最坏情况偏移，这使得所需的镇流电阻值最小化。图 15 表明，两个 ZCC3094，每个都使用 20 mΩ 的印刷电路板（PCB）走线作为镇流电阻，在满载时能够实现优于 20%精度的输出电流均流。这两个 20 mΩ 的外部电阻在最大电流为 1A 的情况下，仅会使输出调节压降增加 10mV。对于-3.3V 的输出，这仅会使调节精度降低 0.3%。如前所述，应将 OUTS 引脚直接连接到输出电容上。 也可以将两个以上的ZCC3094并联，以获得更高的输出电流和更低的输出噪声。将多个 ZCC3094并联对于在印刷电路板上分散热量也很有用。对于输入与输出之间电压差较大的应用，还可以使用一个输入串联电阻或与 ZCC3094并联的电阻来散热。

印刷电路板布局注意事项

鉴于 ZCC3094具有高带宽和超高的电源抑制比（PSRR），必须精心进行印刷电路板布局，以充分发挥器件的性能。图 16 展示了一种推荐的布局，可使该稳压器充分发挥其性能。有关更多详细信息，请参阅 ZCC3094的演示板手册.

热学方面的考虑

ZCC3094具有内部功率和热限制电路，可在过载条件下保护器件。正常情况下的关断温度标称值为 160°C，具有约 15°C 的迟滞。对于持续的正常负载条件，不要超过最大结温。考虑从结到环境的所有热阻来源是很重要的。这包括结到外壳的热阻、外壳到散热器的界面热阻、散热器的热阻或根据应用要求的电路板到环境的热阻。此外，还要考虑 ZCC3094附近的所有热源。 DFN 和 MSOP 封装的底部有从引线框架到芯片连接的外露金属部分。这两种封装都使热量直接从芯片结传递到印刷电路板的金属部分，从而限制最大工作结温。双列直插引脚排列方式允许金属在印刷电路板的顶面（元件面）延伸超出封装的端部。

对于表面贴装器件，散热是通过利用印刷电路板（PCB）及其铜质走线的散热能力来实现的。也可以使用铜板加强件和镀通孔来散发稳压器产生的热量。

表 5 和表 6 列出了在固定电路板尺寸下，热阻与铜箔面积的函数关系。所有测量均在静止空气中，在一块四层的 FR-4 电路板上进行，该电路板内部平面为 1 盎司实心铜箔，顶部/底部平面为 2 盎司铜箔，电路板总厚度为 1.6mm。这四层在电气上是隔离的，且不存在导热过孔。印刷电路板的层数、铜箔厚度、电路板布局以及导热过孔都会影响最终的热阻值。如需了解有关热阻和高导热性测试电路板的更多信息，请参阅 JEDEC 标准 JESD51，特别是 JESD51-7 和 JESD51-12。要实现低热阻，需要注重细节并精心进行印刷电路板布局。

表 5. DFN 封装的实测热阻

铜箔面积		电路板面积	热阻
顶面	底面		
2500mm²	2500mm²	2500mm²	34°C/M
1000mm²	2500mm²	2500mm²	34°C/M
225mm²	2500mm²	2500mm²	35°C/M
100mm²	2500mm²	2500mm²	36°C/M

* 器件安装在顶面。

表 6. MSOP 封装的实测热阻

铜箔面积		电路板面积	热阻
顶面	底面		
2500mm²	2500mm²	2500mm²	33°C/M
1000mm²	2500mm²	2500mm²	33°C/M
225mm²	2500mm²	2500mm²	34°C/M
100mm²	2500mm²	2500mm²	35°C/M

* 器件安装在顶面。

计算结温

示例：已知输出电压为 -3.3 V，输入电压为 -5 V±5%，输出电流范围是 1 mA 到 500 mA，环境最高温度为 85 摄氏度，那么最高结温是多少呢？

ZCC3094 的功耗为：

$$I_{OUT(MAX)} \bullet (V_{IN(MAX)} - V_{OUT}) + I_{GND} \bullet V_{IN(MAX)}$$

其中：

$I_{OUT(MAX)} = -500mA$

$V_{IN(MAX)} = -5.25V$

I_{GND} (at I_{OUT} = 500mA and V_{IN} = –5.25V) = –9mA

因此:

$$P_{DISS} = -0.5A \bullet (-5.25V + 3.3V) + 9mA \bullet 5.25V = 1.02W$$

使用 DFN 封装时，热阻根据铜箔面积的不同，处于 34 摄氏度每瓦到 36 摄氏度每瓦的范围。 因此，结温相对于环境温度的升高量大约为：

1.02W • 35°C/W = 35.7°C

最高结温等于最高环境温度加上相对于环境温度的最大结温升高量：

$T_J(MAX)$ = 85°C + 35.7°C = 120.7°C

过载恢复

与许多集成电路电源调节器一样，ZCC3094集成了安全工作区（SOA）保护功能。当输入输出压差大于 7V 时，SOA 保护功能会启动。随着输入输出压差的增大，SOA 保护会降低电流限制，以确保功率晶体管在 ZCC3094的绝对最大额定值范围内，对于所有输入输出电压值都能处于安全工作区域。ZCC3094为所有输入输出压差提供一定水平的输出电流。请参考“典型性能特性”部分中的限流曲线。当首次接通电源且输入电压上升时，输出会跟随输入，保持较低的输入 - 输出压差，以便调节器能够提供较大的输出电流，并启动进入高电流负载状态。

然而，由于限流折返特性，在高输入电压情况下，如果输出电压较低且负载电流较高，就会出现问题。这种情况会在短路故障解除后，或者在输入电压已经开启后将 EN/UV 引脚拉高时发生。在这种情况下，负载线会与输出电流曲线在两个点相交。此时调节器有两个稳定工作点。由于这种双重交点的存在，输入电源可能需要先关断至零，然后再重新开启，以使输出恢复正常。其他具有折返式限流保护的线性调节器也会出现这种现象，所以这并非 ZCC3094 所独有。

封装描述

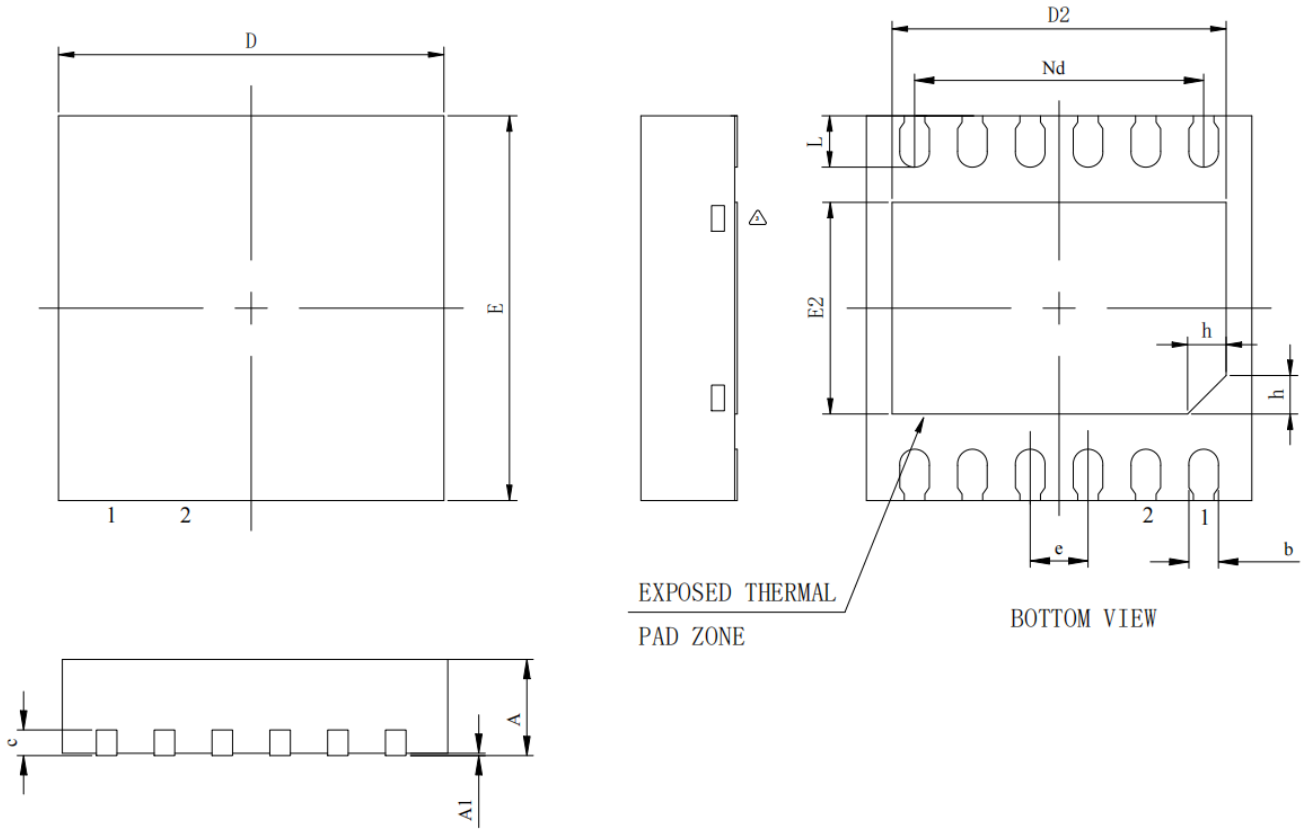


图 21. ZCC3094ACPZ-R7 DFN12 封装 (3mmx3mm, CP-12-1)

SYMBOL	MILLIMETER		
	MIN	NOM	MAX
A	0.70	0.75	0.80
A1	—	0.02	0.05
b	0.16	0.23	0.28
b1	0.11	0.16	0.21
c	0.18	0.20	0.25
D	2.90	3.00	3.10
D2	2.40	2.50	2.60
e	0.45BSC		
Nd	2.25BSC		
E	2.90	3.00	3.10
E2	1.45	1.55	1.65
L	0.30	0.40	0.50
h	0.20	0.25	0.30
L/F载体尺寸 (Mil)	106*75		

订购指南

型号	温度范围	封装描述	封装选项
ZCC3094ACPZ-R7	−40°C 至 +125°C	DFN-12	CP-12-1