MIC24045

支持I²C编程的4.5V-19V输入、5A降压转换器

特性

- 4.5V至19V输入电压范围
- 5A（最大）输出电流
- 可通过I²C编程的输出电压：
  - 0.64V至5.25V（支持5 mV、10 mV、30 mV和50 mV四种步长）
- 高效（>95%）
- 可通过I²C编程：
  - 软启动：0.16、0.38、0.76和1.5 V/ms斜坡速率
  - 开关频率：310 kHz、400 kHz、500 kHz、570 kHz、660 kHz、780 kHz、1 MHz和1.2 MHz
  - 2A、3A、4A和5A负载的电流限值
  - 输出电压裕度：–5%，+5%
  - 启动延时：0 ms至10 ms
- 整个温度范围内的输出电压精度为±1%（0.64V至1.95V）
- 支持安全启动至预偏置输出
- 通过I²C接口进行多种诊断

应用

- 服务器、数据存储、路由器和基站
- FPGA、DSP和低压ASIC电源

概述

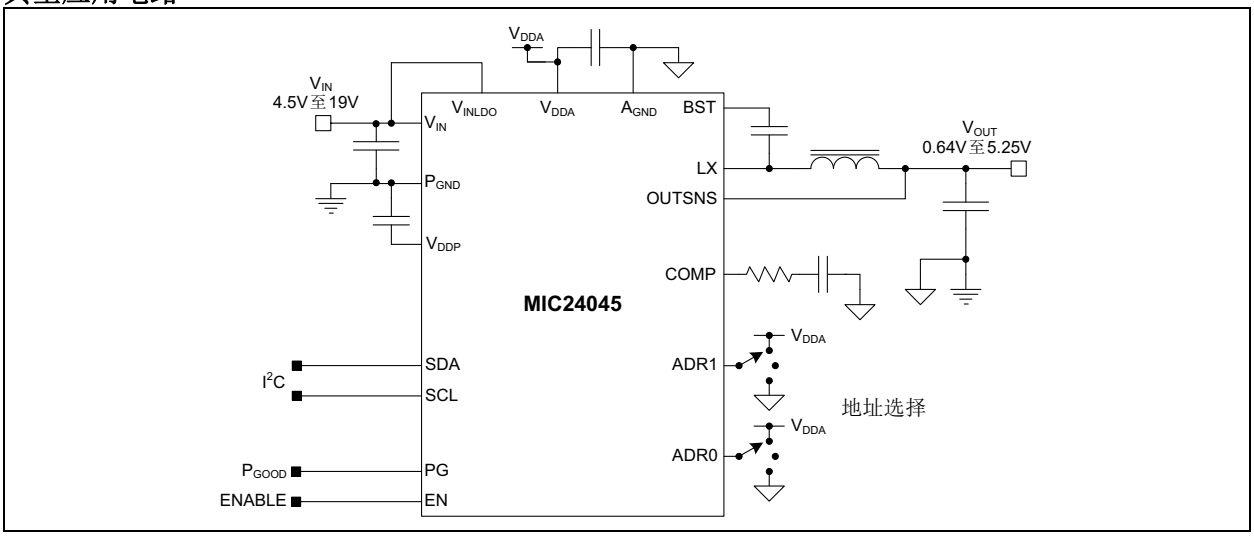
MIC24045是一款支持I²C编程的高效率、宽输入范围、5A同步降压稳压器。MIC24045非常适合多电压轨应用环境，通常用于计算和电信系统。通过I²C，可以对MIC24045中的各种参数进行编程，例如输出电压、开关频率、软启动斜率、裕度、电流限值和启动延时。该器件兼具宽开关频率调节范围、谷值电流模式控制技术、高性能误差放大器和外部补偿，因此能够在高效率和可能的最小解决方案尺寸之间实现最佳权衡。

借助I²C，MIC24045支持多种诊断和状态信息。

MIC24045引脚排列与MIC24046（支持引脚配置脚编程的稳压器）引脚排列兼容，因此可以将基于I²C的实现轻松转换为引脚可编程的实现。

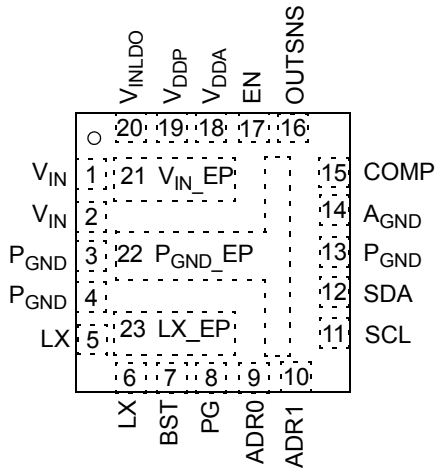
MIC24045采用高效散热、节省空间的20引脚3 mm x 3 mm FQFN封装，工作结温范围为-40°C至125°C。

典型应用电路



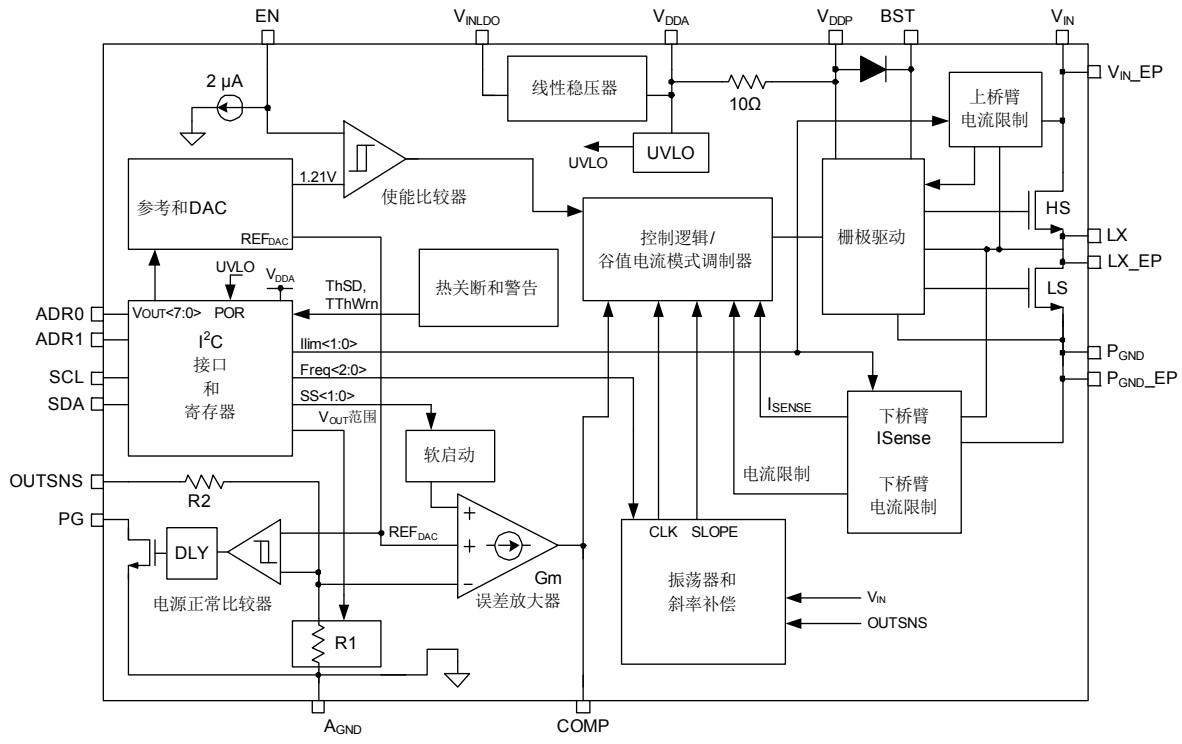
封装类型

MIC24045
3 x 3 FQFN*
（俯视图）



*包括外露的散热焊盘（EP）；请参见表3-1。

功能框图



© 2019 Microchip Technology Inc.

1.0 电气特性

绝对最大值†

V_{IN}、V_{INLDO}和V_{LX}相对于A_{GND}的电压 ..... –0.3V至+20V
V_{DDP}和V_{DDA}相对于A_{GND}的电压 ..... –0.3V至+6V
V_{INLDO}相对于V_{DDA}的电压 ..... –0.3V至+20V
V_{DDP}相对于V_{DDA}的电压 ..... –0.3V至+0.3V
V_{ADRx}、V_{SDA}和V_{SCL}相对于A_{GND}的电压 ..... –0.3V至+6V
V_{BST}相对于V_{LX}的电压 ..... –0.3V至+6V
V_{BST}相对于A_{GND}的电压 ..... –0.3V至+26V
V_{EN}相对于A_{GND}的电压 ..... –0.3V至V_{DDA} + 0.3V，+6V
V_{PG}相对于A_{GND}的电压 ..... –0.3V至+6V
V_{COMP}和V_{OUTSNS}相对于A_{GND}的电压 ..... –0.3V至V_{DDA} + 0.3V，+6V
A_{GND}相对于P_{GND}的电压 ..... –0.3V至+0.3V
ESD额定值(1)
HBM ..... 2 kV
CDM ..... 2 kV

† 注：如果器件的工作条件超过上述“最大额定值”，可能对器件造成永久性损坏。上述值仅代表本规范规定的极限工作条件，不代表器件在上述极限值或超出极限值的情况下仍可正常工作。器件长时间工作在最大值条件下，其可靠性可能受到影响。

注 1： 器件对ESD非常敏感。建议采取处理预防措施。人体模型，1.5 kΩ电阻与100 pF电容串联。

工作额定值(1)

电源电压（V_{IN}和V_{INLDO}） ..... +4.5V至+19V
外部施加的模拟和驱动器电源电压（V_{INLDO} = V_{DDA} = V_{DDP}） ..... +4.5V至+5.5V
使能电压（V_{EN}） ..... 0V至V_{DDA}
电源正常（PG）上拉电压（V_{PU_PG}） ..... 0V至+5.5V
输出电流 5A

注 1： 器件无法保证在超出工作范围的条件下正常工作。

电气特性（注1）

电气规范：除非另外说明，否则V_{IN} = V_{INLDO} = 12V；C_{VDDA} = 2.2 µF，C_{VDDP} = 2.2 µF，T_A = +25°C。**粗体**值表示 –40°C ≤ T_J ≤ +125°C。

参数	符号	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件
V_{IN} 电源						
输入范围	V_{IN}	**4.5**	—	**19**	V	—
禁止电流	I_{VINQ}	—	0.2	**2**	µA	EN = 0V
禁止电流	$I_{VINLDOQ}$	—	0.6	**1**	mA	EN = 0V
工作电流	I_{VINOp}	—	0.3	0.5	mA	EN > 1.28V，ILIM<1:0> = 00，OUTSNS = 1.15 x $V_{OUT(NOM)}$，无开关，T_A = T_J = +25°C
工作电流	$I_{VINLDOOp}$	—	4.5	**7**	mA	EN > 1.28V，OUTSNS = 1.15 x $V_{OUT(NOM)}$，无开关，T_A = T_J = +25°C
V_{DDA} 5V 电源						
工作电压	V_{DDA}	**4.8**	5.1	**5.4**	V	I_{VDDA} = 0 mA至10 mA
低压差操作		**3.6**	4.2	—	V	V_{INLDO} = 4.5V，I_{VDDA} = 10 mA
V_{DDA}欠压锁定						
V_{DDA} UVLO上升	UVLO_R	**3.1**	3.5	**3.9**	V	V_{DDA}上升，EN > 1.28V
V_{DDA} UVLO下降	UVLO_F	**2.87**	3.2	**3.45**	V	V_{DDA}下降，EN > 1.28V
V_{DDA} UVLO滞后	UVLO_H	—	300	—	mV	—
EN控制						
EN上升阈值	EN_R	**1.14**	1.21	**1.28**	V	启动功率级操作
EN下降阈值	EN_F	—	1.07	—	V	停止功率级操作
EN滞后	EN_H	—	135	—	mV	—
EN下拉电流	EN_I	1	2	3	µA	T_A = T_J = +25°C
开关频率						
可编程频率0	f_{s0}	**270**	310	**350**	kHz	—
可编程频率1	f_{s1}	**350**	400	**450**	kHz	—
可编程频率2	f_{s2}	**450**	500	**550**	kHz	—
可编程频率3	f_{s3}	**510**	570	**630**	kHz	—
可编程频率4	f_{s4}	**590**	660	**740**	kHz	—
可编程频率5	f_{s5}	**680**	780	**880**	kHz	—
可编程频率6	f_{s6}	**850**	970	**1100**	kHz	—
可编程频率7	f_{s7}	**1050**	1200	**1350**	kHz	—
过流保护						
HS电流限值0	I_{LIM_HS0}	**4.0**	4.7	**6.5**	A	—
HS电流限值1	I_{LIM_HS1}	**5.4**	6.2	**7.6**	A	—
HS电流限值2	I_{LIM_HS2}	**7.6**	8.6	**10.6**	A	—

注 1： 规范值仅针对已封装的产品。

© 2019 Microchip Technology Inc.

电气特性（注1）

电气规范：除非另外说明，否则V_{IN} = V_{INLDO} = 12V；C_{VDDA} = 2.2 µF，C_{VDDP} = 2.2 µF，T_A = +25°C。**粗体**值表示 –40°C ≤ T_J ≤ +125°C。

参数	符号	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件
HS电流限值3	I_{LIM_HS3}	**8.2**	9.4	**12.0**	A	—
上桥臂FET 电流限制 前沿消隐时间	LEB	—	108	—	ns	—
LS电流限值0	I_{LIM_LS0}	**2.0**	3.25	**5.0**	A	—
LS电流限值1	I_{LIM_LS1}	**3.0**	4.3	**6.0**	A	—
LS电流限值2	I_{LIM_LS2}	**4.0**	5.6	**7.5**	A	—
LS电流限值3	I_{LIM_LS3}	**5.0**	6.2	**8.5**	A	—
间断期间的OC事件计数	IN_{HICC_DE}	—	15	—	时钟周期	进入间断过载保护之前电流限值中的后续周期数。
间断等待时间	t_{HICC_WAIT}	—	13.5V/SS_SRx	—	ms	新的软启动之前LX上高阻态的持续时间。SS_SRx = SS_SR0，SS_SR1，SS_SR2，SS_SR3
电源开关						
下桥臂FET导通电阻	R_{LS}	—	16	21	mΩ	V_{IN} = V_{INLDO} = V_{DDP} = V_{DDA} = 5V，V_{BST}-V_{LX} = 5V，T_A = T_J = +25°C
上桥臂FET导通电阻	R_{HS}	—	38	50	mΩ	V_{IN} = V_{INLDO} = V_{DDP} = V_{DDA} = 5V，V_{BST}-V_{LX} = 5V，T_A = T_J = +25°C
脉宽调制（Pulse-Width Modulation，PWM）						
最短LX导通时间	$T_{ON(MIN)}$	—	26	—	ns	T_A = T_J = +25°C
最短LX关断时间	$T_{OFF(MIN)}$	90	145	190	ns	V_{IN} = V_{INLDO} = V_{DDA} = 5V，V_{OUTSNS} = 3V，400 kHz设置，V_{OUT} = 3.3V，T_A = T_J = +25°C
最小占空比	D_{MIN}	—	0	—	%	V_{OUTSNS} > 1.1 x $V_{OUT(NOM)}$
Gm误差放大器						
误差放大器跨导	Gm_{EA}	—	1.4	—	ms	—
误差放大器直流增益	A_{EA}	—	50000	—	V/V	—
误差放大器拉电流	I_{SR}	—	400	—	µA	—
误差放大器灌电流	I_{SNK}	—	400	—	µA	—
COMP输出摆幅高电压	COMP_H	—	2.5	—	V	—
COMP输出摆幅低电压	COMP_L	—	0.8	—	V	—
COMP-电感电流跨导	Gm_{PS}	—	12.5	—	A/V	V_{OUT} = 1.2V，I_{OUT} = 4A
输出电压直流精度						
最小可编程输出电压	MinOut	—	0.64	—	V	—
最大可编程输出电压	MaxOut	—	5.25	—	V	—

注 1： 规范值仅针对已封装的产品。

电气特性（注1）

电气规范：除非另外说明，否则V_{IN} = V_{INLDO} = 12V；C_{VDDA} = 2.2 µF，C_{VDDP} = 2.2 µF，T_A = +25°C。**粗体**值表示 –40°C ≤ T_J ≤ +125°C。

参数	符号	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件
0.640V至1.280V范围的LSB	LSB1	—	5	—	mV	—
1.290V至1.950V范围的LSB	LSB2	—	10	—	mV	—
1.980V至3.42V范围的LSB	LSB3	—	30	—	mV	—
4.75V至5.25V范围的LSB	LSB4	—	50	—	mV	—
范围1和2的输出电压精度	OutErr12	**–1**	—	**1**	%	4.75V ≤ V_{IN} ≤ 19V， V_{OUT} = 0.64V至1.95V T_A = T_J = -40°C至+125°C， I_{OUT} = 0A
范围3和4的输出电压精度	OutErr34	**–1.5**	—	**1.5**	%	4.75V ≤ V_{IN} ≤ 19V（对应于 V_{OUT} = 1.98V至3.42V）， 6V ≤ V_{IN} ≤ 19V（对应于 V_{OUT} = 4.75V至5.25V）， T_A = T_J = -40°C至+125°C， I_{OUT} = 0A
负载调整率	LoadReg	—	0.2	—	%	I_{OUT} = 0A至5A，V_{OUT} = 3.3V
电压调整率	LineReg	—	0.1	—	%	6V < V_{IN} < 19V，I_{OUT} = 2A
内部软启动						
参考软启动压摆率0	SS_SR0	—	0.16	—	V/ms	V_{OUT} = 0.64至1.28V
参考软启动压摆率1	SS_SR1	—	0.38		V/ms	V_{OUT} = 0.64至1.28V
参考软启动压摆率2	SS_SR2	—	0.76		V/ms	V_{OUT} = 0.64至1.28V
参考软启动压摆率3	SS_SR3	—	1.5		V/ms	V_{OUT} = 0.64至1.28V
电源正常（PG）						
PG低电压	PG_V_{OL}	—	0.18	**0.4**	V	$I_{(PG)}$ = 4 mA
PG泄漏电流	PG_I_{LEAK}	**–1**	0.02	**1**	µA	V_{PG} = 5V
PG上升阈值	PG_R	**90**	92.5	**95**	%	V_{OUT}上升
PG下降阈值	PG_F	**87.5**	90	**92.5**	%	V_{OUT}下降
PG上升延时	PG_R_DLY	—	0.45	—	ms	V_{OUT}上升
PG下降延时	PG_F_DLY	—	80	—	µs	V_{OUT}下降
热关断						
热关断	T_{SHDN}	—	160	—	°C	—
热关断滞后	T_{SHDN_HYST}	—	25	—	°C	—
热警告阈值	T_{ThWrn}	—	120	—	°C	—

注 1： 规范值仅针对已封装的产品。

© 2019 Microchip Technology Inc.

电气特性（注1）

电气规范：除非另外说明，否则V_{IN} = V_{INLDO} = 12V；C_{VDDA} = 2.2 µF，C_{VDDP} = 2.2 µF，T_A = +25°C。**粗体**值表示 –40°C ≤ T_J ≤ +125°C。

参数	符号	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件
效率						
效率	η	—	82.3	—	%	V_{IN} = 12V，V_{OUT} = 0.9V，I_{OUT} = 2A，f_S = 400 kHz，L = 1.2 µH，T_A = +25°C
I^2C接口						
SDA和SCL V_{IH}	V_{IH}	2	—	—	V	V_{DDA} = 5V（电压与3.3V兼容）
SDA和SCL V_{IL}	V_{IL}	—	—	1	V	V_{DDA} = 5V（电压与3.3V兼容）
SDA，SCL输入高/低电流	I_{IH}，I_{IL}	–1	—	1	µA	—
SDA输出低电压	V_{OL}	—	—	0.4	V	I_{SDA} = 3 mA

注 1： 规范值仅针对已封装的产品。

温度规范

电气规范：除非另外说明，否则V_{IN} = V_{INLDO} = 12V；C_{VDDA} = 2.2 µF，C_{VDDP} = 2.2 µF，T_A = +25°C。

参数	符号	最小值	典型值	最大值	单位	条件
温度范围						
结温	T_J	-40	—	+125	°C	—
存储温度范围	T_A	-65	—	+150	°C	—
封装热阻						
热阻，20LD 3x3 FQFN	θ_{JA}	—	29	—	°C/W	—

© 2019 Microchip Technology Inc.

2.0 典型特性曲线

注： 以下图表为基于有限数量样片的统计结果，仅供参考。所列出的性能特性未经测试，我们不做保证。在一些图表中，所列数据可能超出规定的工作范围（如：超出规定的电源电压范围），因而不在担保范围内。

注： 除非另外说明，否则V_{IN} = 12V，f_S = 660 kHz，I_{LIM} = I_{LIM_LS3}，L = 2.2 µH，T_A = +25°C。

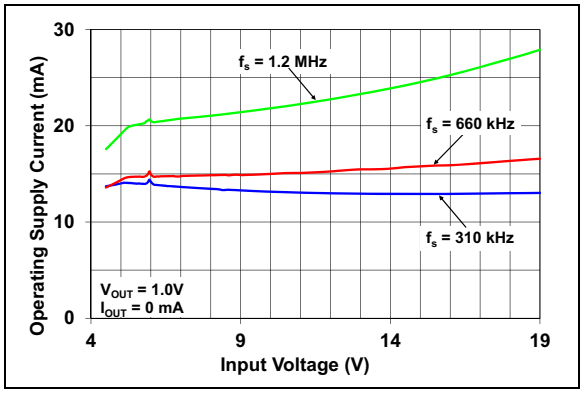


***图2-1：** 工作电源电流—输入电压曲线（开关状态）*

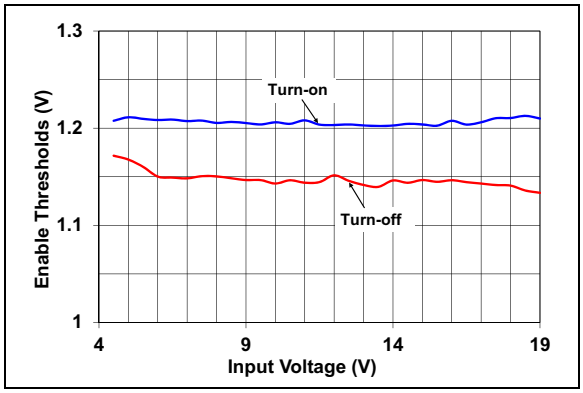


***图2-4：** 使能阈值—输入电压曲线*

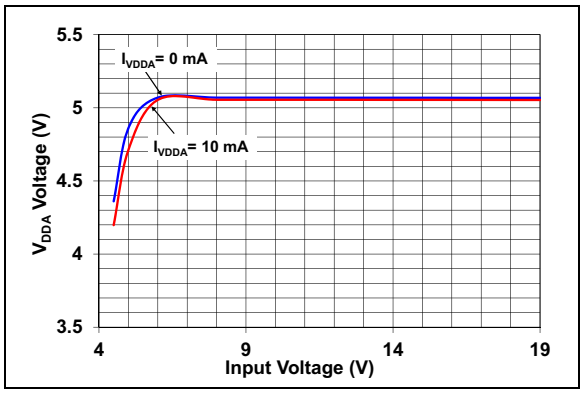


***图2-2：** V_{DDA}—输入电压曲线*

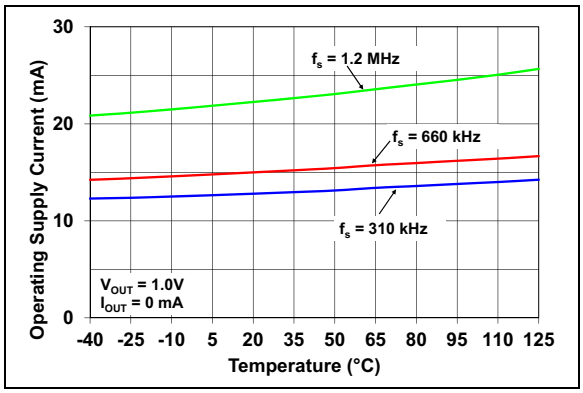


***图2-5：** 工作电源电流—温度曲线（开关状态）*

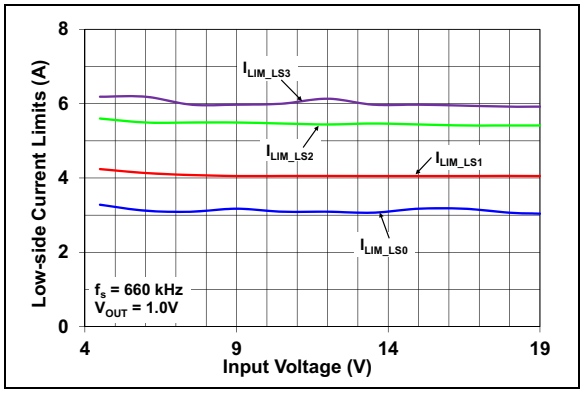


***图2-3：** 下桥臂电流限值—输入电压曲线*

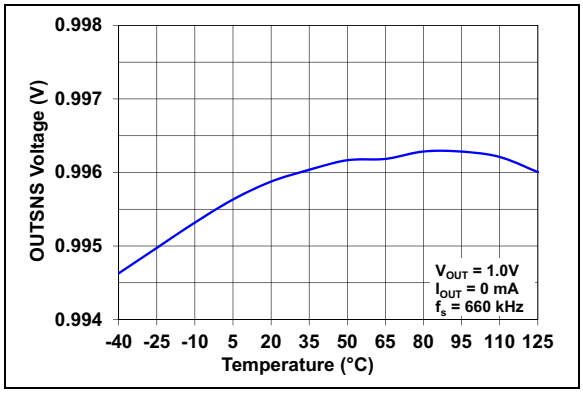


***图2-6：** OUTSNS 电压—温度曲线*

注：除非另外说明，否则V_{IN} = 12V，f_S = 660 kHz，I_{LIM} = I_{LIM_LS3}，L = 2.2 µH，T_A = +25°C。

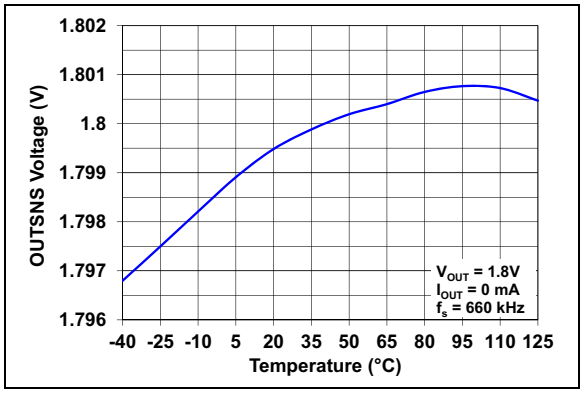


图2-7：OUTSNS 电压— 温度曲线

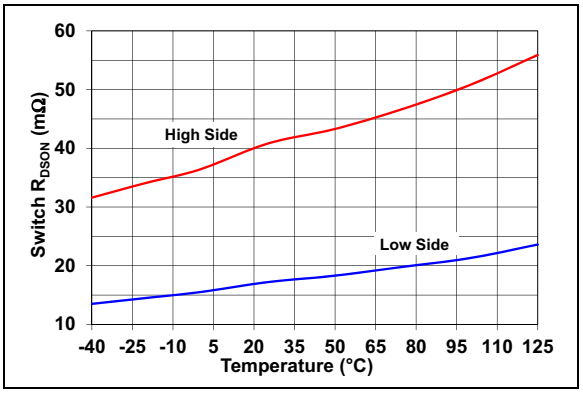


图2-10：$R_{DS(on)}$— 温度曲线

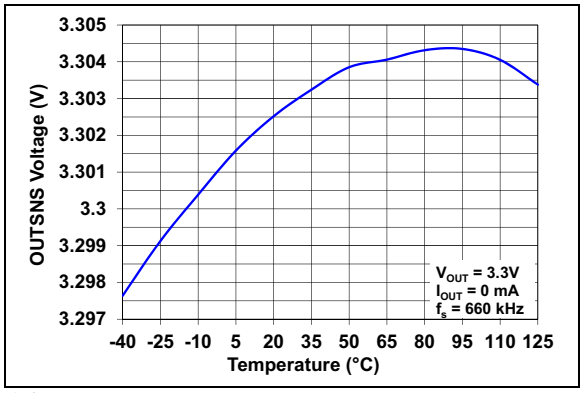


图2-8：OUTSNS 电压— 温度曲线

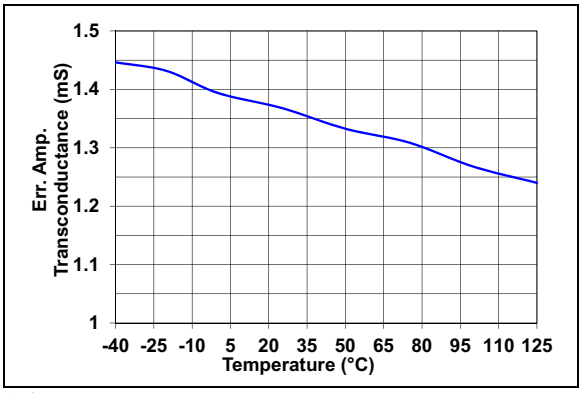


图2-11：误差放大器跨导— 温度曲线

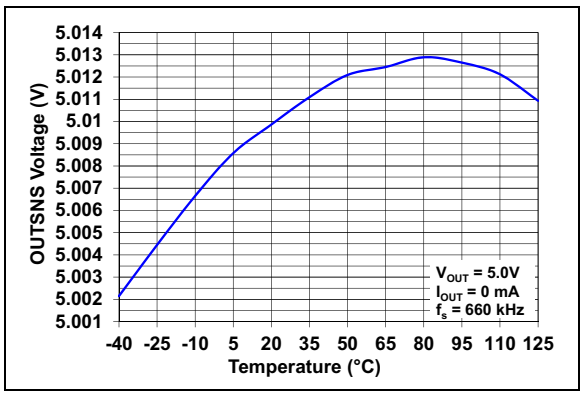


图2-9：OUTSNS 电压— 温度曲线

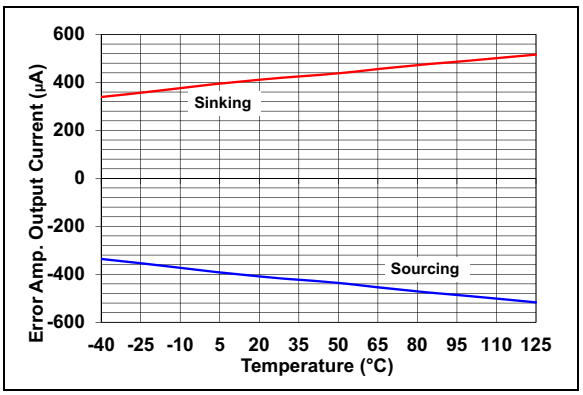


图2-12：误差放大器输出电流— 温度曲线

© 2019 Microchip Technology Inc.

注：除非另外说明，否则V_{IN} = 12V，f_S = 660 kHz，I_{LIM} = I_{LIM_LS3}，L = 2.2 µH，T_A = +25°C。

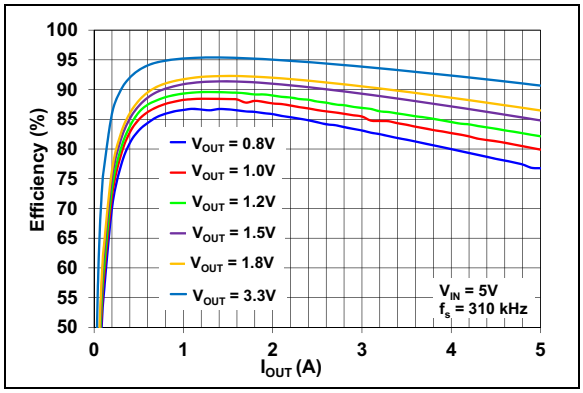


***图2-13：** 效率— 负载电流曲线*

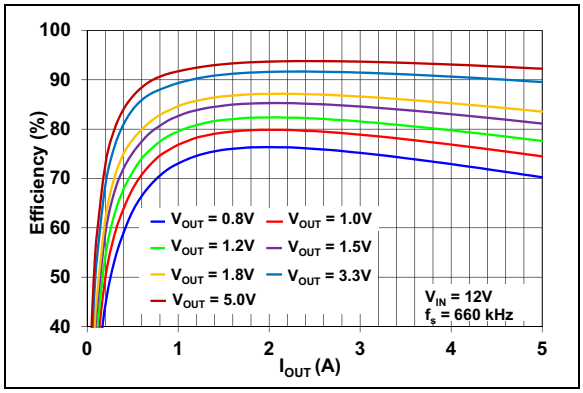


***图2-16：** 效率— 负载电流曲线*

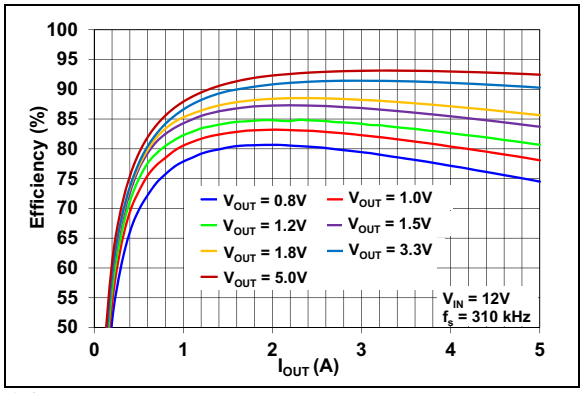


***图2-14：** 效率— 负载电流曲线*

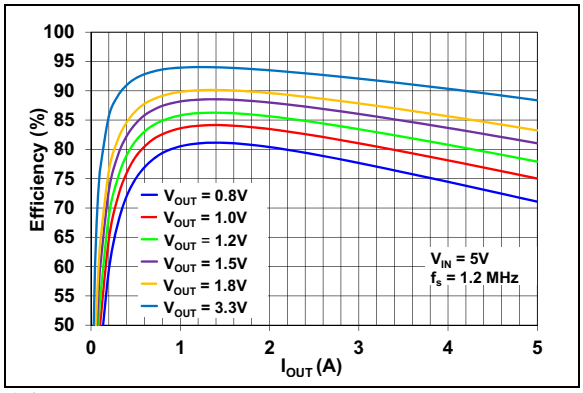


***图2-17：** 效率— 负载电流曲线*

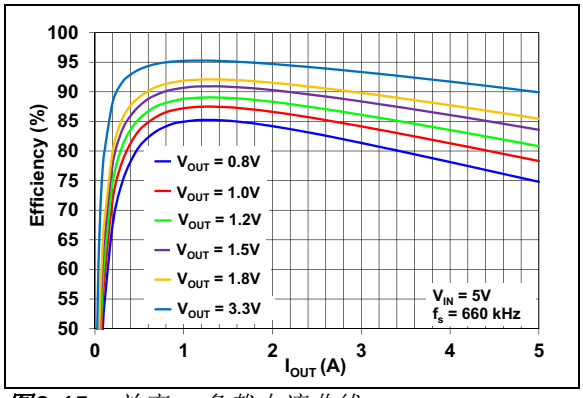


***图2-15：** 效率— 负载电流曲线*

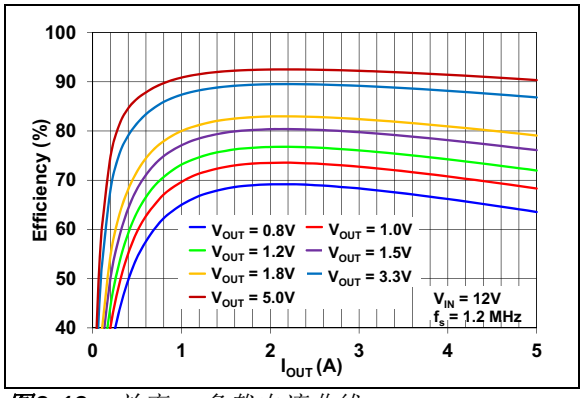


***图2-18：** 效率— 负载电流曲线*

注：除非另外说明，否则V_{IN} = 12V，f_S = 660 kHz，I_{LIM} = I_{LIM_LS3}，L = 2.2 µH，T_A = +25°C。

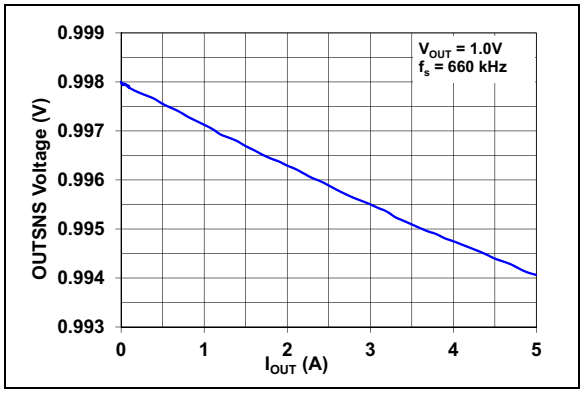


***图2-19：** 负载调整率：OUTSNS 电压—I_{OUT} 曲线*

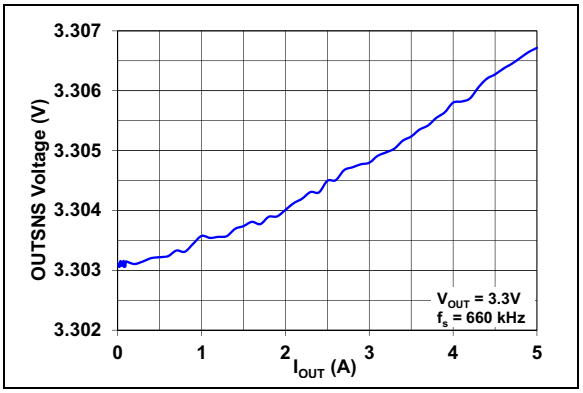


***图2-21：** 负载调整率：OUTSNS 电压—I_{OUT} 曲线*

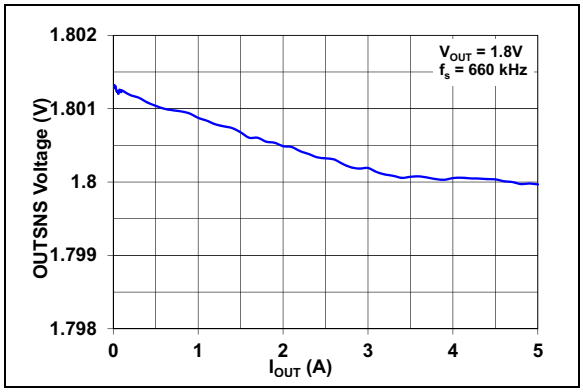


***图2-20：** 负载调整率：OUTSNS 电压—I_{OUT} 曲线*

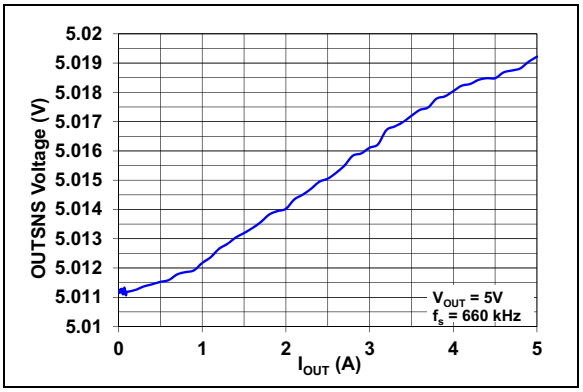


***图2-22：** 负载调整率：OUTSNS 电压—I_{OUT} 曲线*

© 2019 Microchip Technology Inc.

注：除非另外说明，否则V_{IN} = 12V，f_S = 660 kHz，I_{LIM} = I_{LIM_LS3}，L = 2.2 µH，T_A = +25°C。

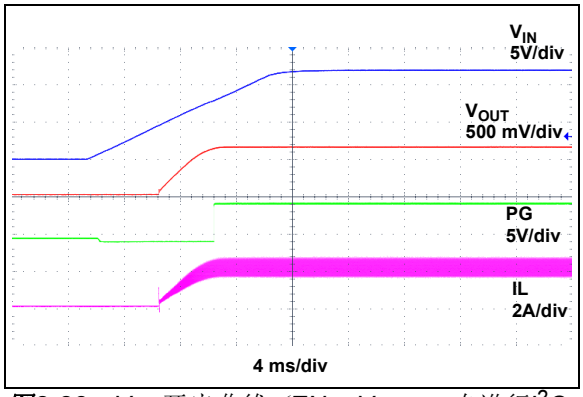


图2-23：V_{IN}开启曲线（EN = V_{DDA}，未进行I^2C编程，2Z版本寄存器默认值），R_{LOAD} = 0.3Ω

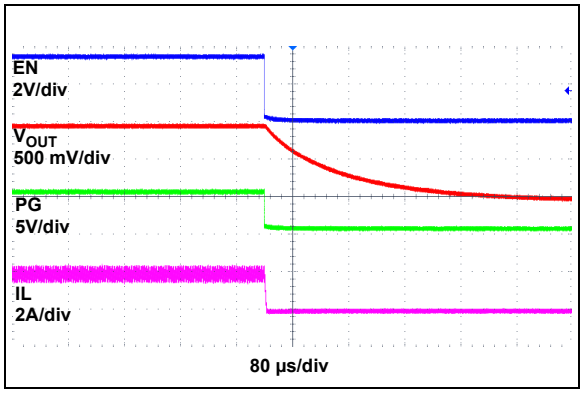


图2-26：EN关闭曲线，R_{LOAD} = 0.3Ω

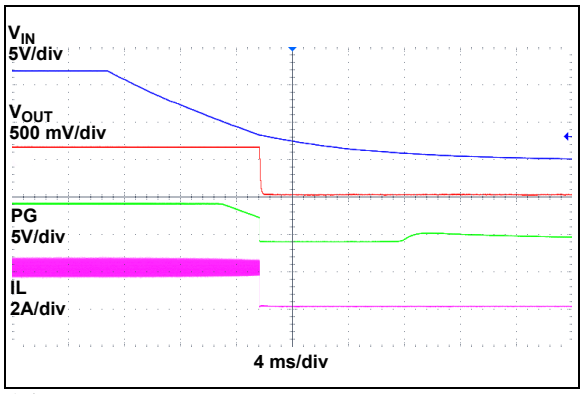


图2-24：V_{IN}关闭曲线（EN = V_{DDA}），R_{LOAD} = 0.3Ω

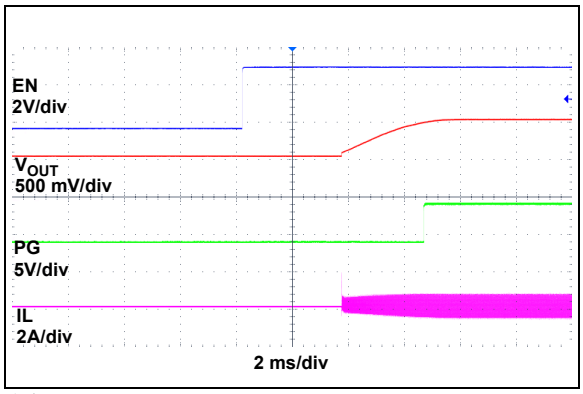


图2-27：EN开启至预偏置输出曲线（$V_{pre\text{-}bias}$ = 0.5V）

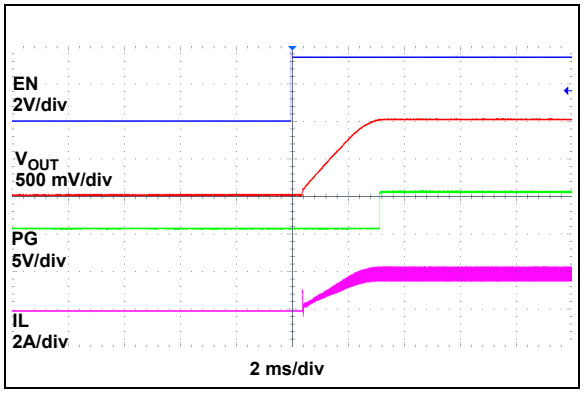


图2-25：EN开启曲线，R_{LOAD} = 0.3Ω

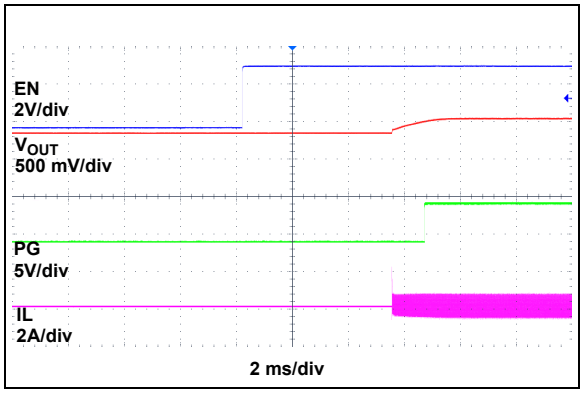


图2-28：EN开启至预偏置输出曲线（$V_{pre\text{-}bias}$ = 0.8V）

注：除非另外说明，否则V_{IN} = 12V，f_S = 660 kHz，I_{LIM} = I_{LIM_LS3}，L = 2.2 µH，T_A = +25°C。

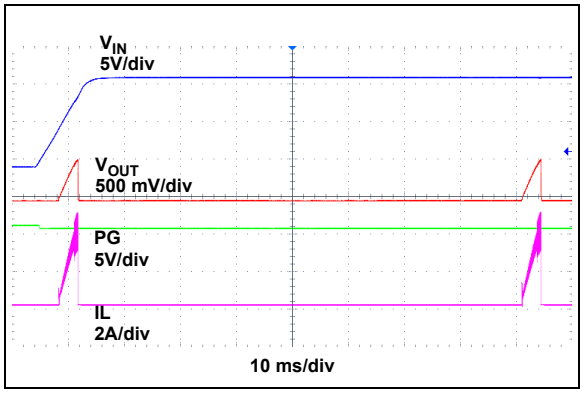


***图2-29：** 上电进入短路曲线（EN = V_{DDA}，未进行I^2C编程，2Z版本寄存器默认值）*

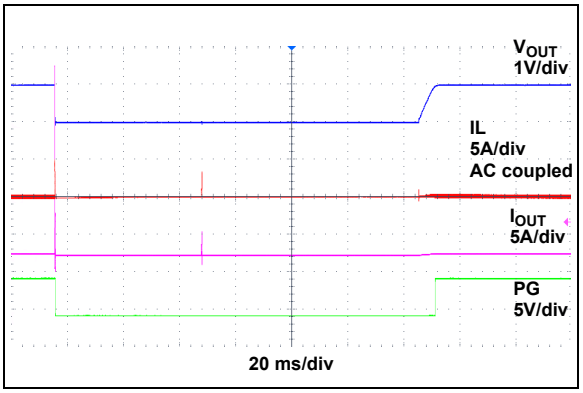


***图2-32：** 间断模式短路电流限制响应曲线*

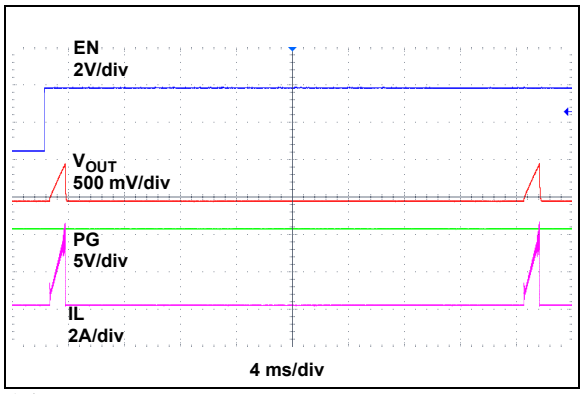


***图2-30：** 使能进入短路曲线*

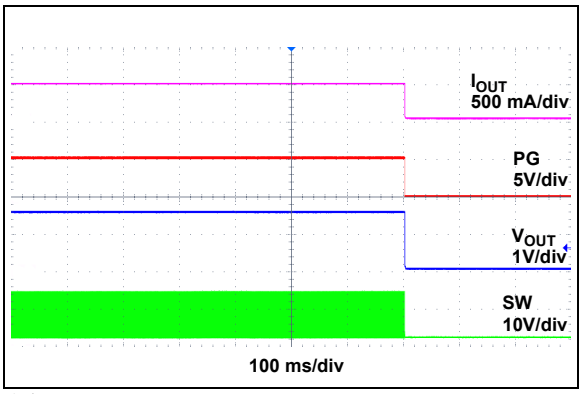


***图2-33：** 热关断响应曲线*

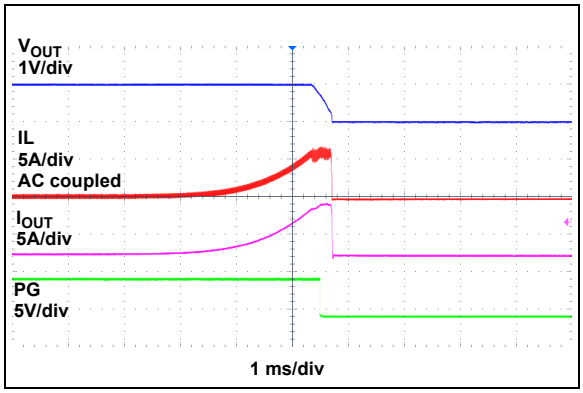


***图2-31：** 输出电流限制阈值曲线*

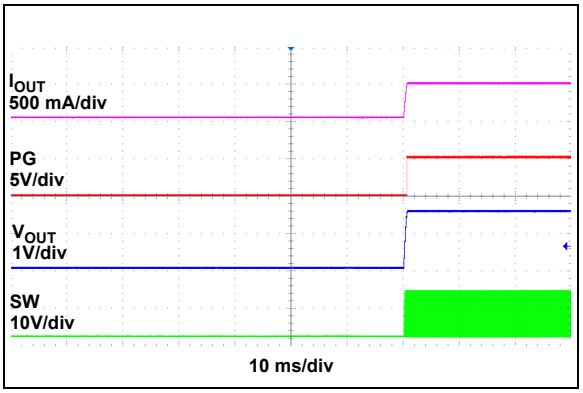


***图2-34：** 从热关断恢复曲线*

© 2019 Microchip Technology Inc.

注：除非另外说明，否则V_{IN} = 12V，f_S = 660 kHz，I_{LIM} = I_{LIM_LS3}，L = 2.2 µH，T_A = +25°C。

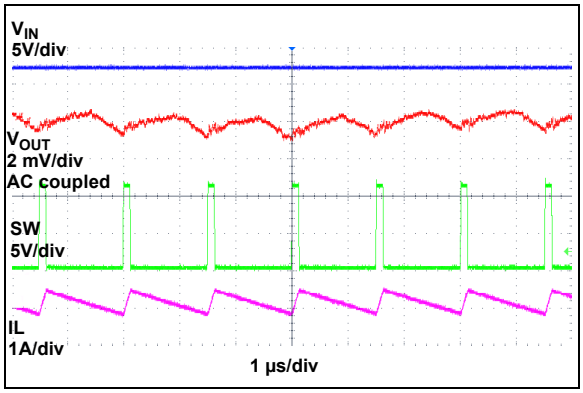


***图2-35：** 开关波形（f_S = 660 kHz，I_{OUT} = 0A）*

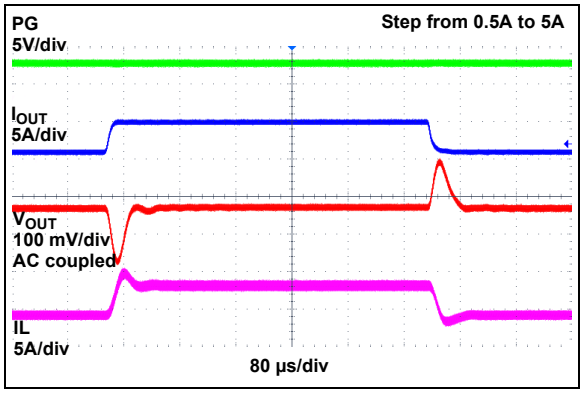


***图2-38：** 负载瞬态响应曲线（I_{LIM} = I_{LIM_LS3}）*

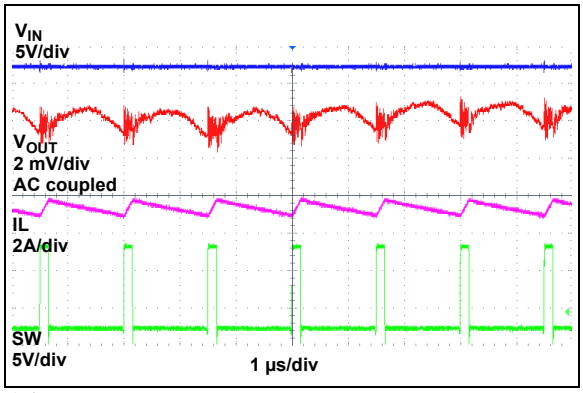


***图2-36：** 开关波形（f_S = 660 kHz，I_{OUT} = 5A）*

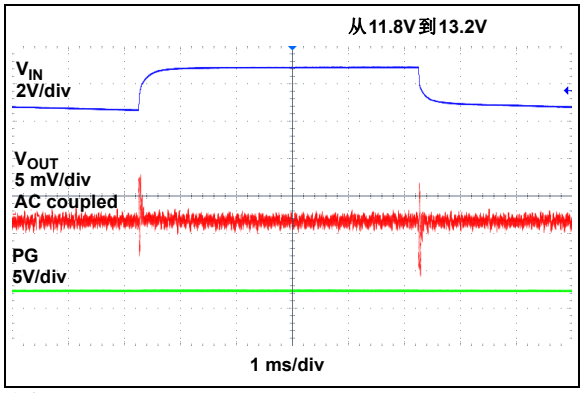


***图2-39：** 线路瞬态响应曲线*

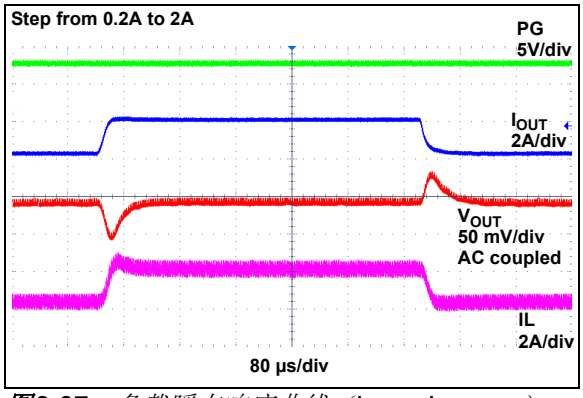


***图2-37：** 负载瞬态响应曲线（I_{LIM} = I_{LIM_LS0}）*

注：除非另外说明，否则V_{IN} = 12V，f_S = 660 kHz，I_{LIM} = I_{LIM_LS3}，L = 2.2 µH，T_A = +25°C。

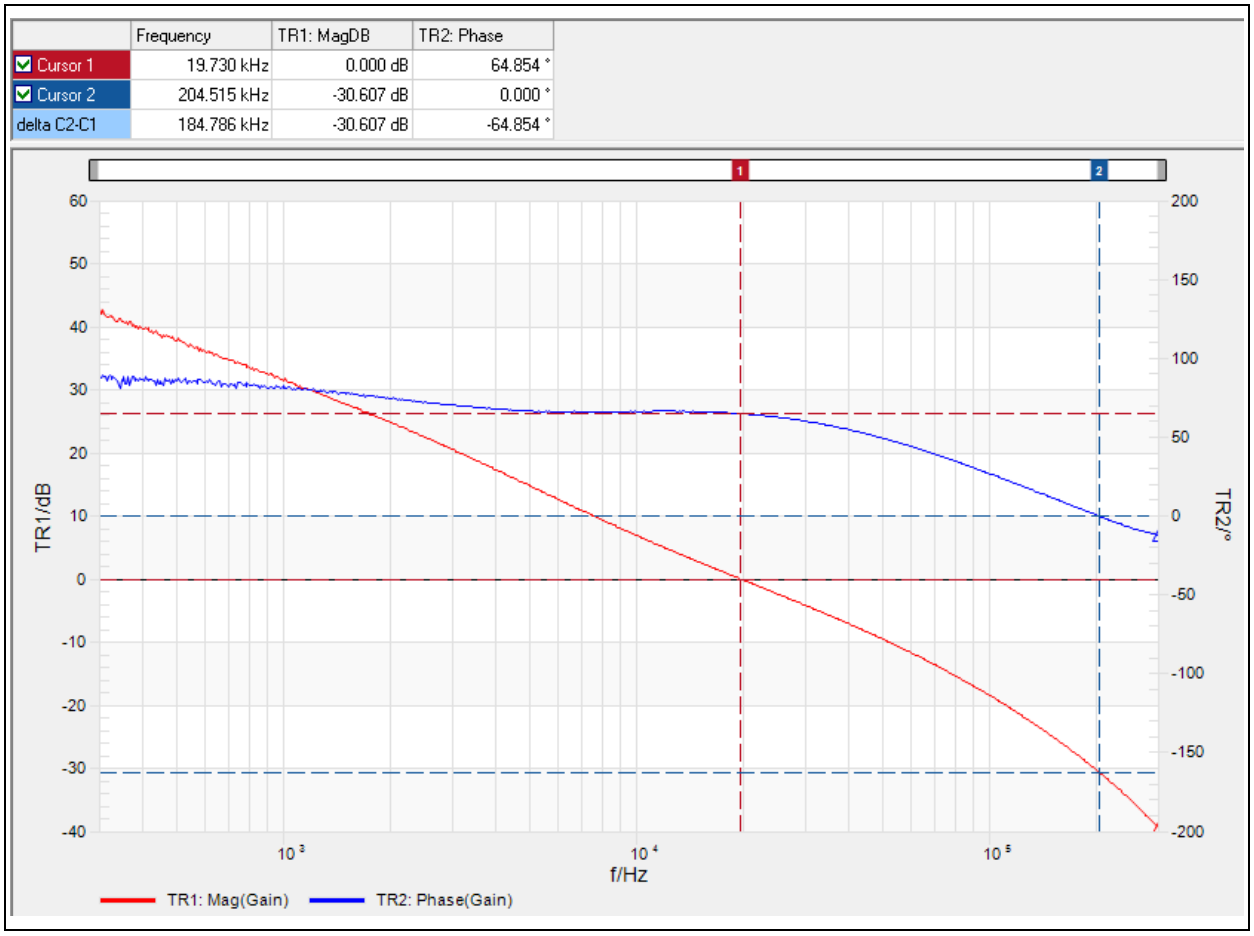


***图2-40：**电压回路增益波特图（V_{OUT} = 1.8V，f_s = 570 kHz，L = 1.2 µH，C_{OUT} = 266 µF，R_{C1} = 2.55 kΩ，C_{C1} = 10 nF，C_{C2} = 47 pF）（见第7.7 节，补偿设计）*

© 2019 Microchip Technology Inc.

3.0 引脚说明

表3-1列出了引脚说明。

表3-1： 引脚功能表

MIC24045	符号	引脚功能
1、2	V_{IN}	输入电压引脚
3、4和13	P_{GND}	电源地引脚
5、6	LX	开关节点引脚
7	BST	自举电容引脚。BST和LX引脚之间连接有一个自举电容。
8	PG	电源正常漏极开路输出引脚
9	ADR0	I^2C地址编程引脚0
10	ADR1	I^2C地址编程引脚1
11	SCL	I^2C时钟输入引脚
12	SDA	I^2C数据输入/输出引脚
14	A_{GND}	模拟地引脚
15	COMP	跨导误差放大器输出引脚。将补偿网络从COMP连接到A_{GND}。
16	OUTSNS	输出检测引脚
17	EN	高精度使能输入引脚
18	V_{DDA}	内部稳压器输出引脚
19	V_{DDP}	MOSFET驱动器内部电源引脚
20	V_{INLDO}	内部稳压器输入引脚
21	V_{IN}_EP	V_{IN}外露焊盘。电气连接到V_{IN}。
22	P_{GND}_EP	P_{GND}外露焊盘。电气连接到P_{GND}。
23	LX_EP	LX外露焊盘。电气连接到LX。

3.1 输入电压引脚（V_{IN}）

降压转换器功率级的输入电压引脚。这两个引脚是内部上桥臂N沟道MOSFET的漏极端子。应将一个至少10 µF的陶瓷电容从V_{IN}连接到P_{GND}引脚，并使其尽可能靠近器件。建议组合使用不同大小的多个陶瓷电容。

3.2 电源地引脚（P_{GND}）

下桥臂MOSFET源极端子和下桥臂驱动器返回端子。将陶瓷输入电容连接到P_{GND}，并使其尽可能靠近器件。

3.3 开关节点引脚（LX）

内部N沟道功率FET的漏极（下桥臂MOSFET）和源极（上桥臂MOSFET）连接。外部电感（开关侧）和自举电容（底部端子）必须连接到这些引脚。

3.4 自举电容引脚（BST）

上桥臂N沟道功率MOSFET驱动器的电源电压。将自举电容（顶部端子）连接到此引脚。

3.5 电源正常输出引脚（PG）

当输出电压在标称设定值的92.5%以内时，该引脚将通过外部上拉电阻从逻辑低电平变为逻辑高电平。该引脚是内部N沟道FET的漏极连接。

3.6 I^2C地址编程引脚0（ADR0）

用于I^2C地址编程的三态引脚（低电平、高电平和高阻态）。ADR0与ADR1一起定义了9个逻辑值，分别对应于9个不同的I^2C地址。

3.7 I^2C地址编程引脚1（ADR1）

用于I^2C地址编程的三态引脚（低电平、高电平和高阻态）。ADR0与ADR1一起定义了9个逻辑值，分别对应于9个不同的I^2C地址。

3.8 I²C时钟输入引脚（SCL）

SCL引脚是串行接口串行时钟引脚。该引脚连接到主机控制器SCL引脚。

由于MIC24045是从器件，因此其SCL引脚仅接受外部时钟信号。

3.9 I²C数据输入/输出引脚（SDA）

SDA引脚是串行接口串行数据引脚。该引脚连接到主机控制器SDA引脚。SDA引脚具有漏极开路N沟道驱动器。

3.10 模拟地引脚（A_{GND}）

该引脚是内部稳压器模拟电路的干净地和外部补偿网络的返回端子。

3.11 跨导误差放大器输出引脚（COMP）

将补偿网络从该引脚连接到A_{GND}。

3.12 输出检测引脚（OUTSNS）

将该引脚直接连接到降压转换器输出电压。该引脚是内部反馈分压器的顶部端子。

3.13 高精度使能输入引脚（EN）

将EN引脚与1.21V典型阈值进行比较，以确定是否导通器件。达到导通阈值后，可通过I²C编程的导通延时计数器将启动。EN引脚将由一个2 µA（典型值）电流源下拉，以防止在EN输入悬空的情况下发生意外供电。135 mV典型滞后电压可防止在启动供电时发生抖动。

3.14 内部稳压器输出引脚（V_{DDA}）

内部线性稳压器和内部电源的输出，用于模拟控制。应将一个至少1 µF的陶瓷电容从该引脚连接到A_{GND}；建议使用2.2 µF典型值。

3.15 MOSFET驱动器内部电源引脚（V_{DDP}）

MOSFET驱动器的内部电源轨，由V_{DDA}引脚馈电。稳压器中提供了10Ω的内部电阻（位于V_{DDP}和V_{DDA}引脚之间）来实现用于开关噪声抑制的RC滤波器。应将一个至少1 µF的陶瓷电容从该引脚连接到P_{GND}；建议使用2.2 µF典型值。

3.16 内部稳压器输入引脚（V_{INLDO}）

该引脚通常连接到降压转换器级的输入电压（V_{IN}）。如果V_{INLDO}和V_{IN}连接到不同的电压轨，则使用一个100 nF的陶瓷电容单独将V_{INLDO}旁路到地。

3.17 P_{GND}外露焊盘（P_{GND_EP}）

电气连接到P_{GND}引脚。通过热过孔连接到地平面以确保充分散热。请参见封装信息部分。

3.18 V_{IN}外露焊盘（V_{IN_EX}）

电气连接到V_{IN}引脚。如果提供了输入电源平面，则通过热过孔连接到该平面以改善散热。请参见封装信息部分。

3.19 LX外露焊盘（LX_EP）

电气连接到LX引脚。请参见封装信息部分。

© 2019 Microchip Technology Inc.

4.0 功能说明

MIC24045是一款可数字编程的5A谷值电流控制模式的稳压器，输入电压范围为4.5V至19V。

可编程性通过I^2C兼容串行数字接口来实现，该接口可支持最高400 kHz的串行时钟（SCL）速率（快速模式）。

MIC24045需要最少量的外部元件。外部元件仅为电感、电源去耦电容和补偿网络。由于可灵活地设计外部补偿，因此用户可在整个工作参数（如输入电压、输出电压、开关频率和负载电流）范围内优化设计。

4.1 工作原理

谷值电流控制模式是固定频率、前沿调制的PWM电流控制模式。与峰值电流模式不同，谷值电流模式下的时钟会标记上桥臂开关的关断。此时，MIC24045下桥臂开关电流将与误差放大器的参考电流信号进行比较。当下桥臂开关电流信号降至低于电流参考信号时，上桥臂开关导通。结果是，电感谷值电流将调节为由误差放大器的输出确定的值。

如补偿设计部分所示，反馈回路包括一个内部可编程参考（REF_{DAC}）和输出电压检测衰减器（R2/R1），因此无需外部反馈元件并可提高调节精度。输出电压反馈通过将OUTSNS直接连接到输出实现。高性能跨导误差放大器驱动COMP引脚上的外部补偿网络。COMP引脚电压表示参考电流信号。COMP引脚电压馈入谷值电流模式调制器，这还会增加斜率补偿，以确保电流回路的稳定性。当占空比低于50%时，谷值电流控制模式需要通过斜率补偿来确保电流回路的稳定性。斜率补偿电路是内部电路，它会根据频率、输出电压范围和电压差（V_{IN} - V_{OUTSNS}）自动调整幅值。内部低$R_{DS(ON)}$功率MOSFET、相关的自适应栅极驱动器和内部自举二极管共同组成电源系统。

过流保护和热关断可防止MIC24045出现故障或异常工作状态。

4.2 内部LDO和电源轨（V_{IN}、V_{INLDO}、V_{DDA}和V_{DDP}）

V_{IN}引脚表示电源系统输入。这些引脚是内部上桥臂MOSFET的漏极连接，应通过至少10 µF的X5R或X7R陶瓷电容旁路到P_{GND}，并且要尽可能靠近器件。建议组合使用不同大小的陶瓷电容。

内部LDO（通过V_{INLDO}引脚偏置）为V_{DDA}引脚上的模拟电路和I^2C接口提供干净电源（典型值为5.1V）。内部LDO通常由与V_{IN}相同的电源轨供电；但是，V_{INLDO}也可以高于或低于V_{IN}，并且可以连接到推荐限值范围内的任何其他电压。V_{INLDO}和V_{DDA}应在本地进行旁路（见引脚说明部分）。可为V_{INLDO}旁路电容串联一个小电阻（典型值为2Ω–10Ω）构成RC滤波器，从而抑制较大的高频开关噪声。

内部LDO始终使能，只要V_{INLDO}和V_{DDA}引脚之间建立足够的电压，便立即进行稳压。如果外部电源轨可提供5V±10%的电压，则可通过将V_{INLDO}、V_{DDA}和V_{DDP}全部连接到该外部5V电压轨以旁路内部LDO，从而提高总体效率。

MIC24045不需要为I^2C接口和内部逻辑寄存器提供单独的电源，它们均通过V_{DDA}轨供电。内部欠压锁定（Undervoltage Lock-Out，UVLO）电路会监视V_{DDA}的电压，并在V_{DDA}电压低于UVLO阈值时复位接口和内部寄存器。

V_{DDP}是栅极驱动器和自举电路的电源轨。该引脚受具有高频分量的高电流尖峰的影响。为了防止它们污染模拟V_{DDA}电源，需要通过一个单独的电容将V_{DDP}引脚旁路。V_{DDA}和V_{DDP}引脚之间提供了一个10Ω的内部电阻，因此可通过最少的外部元件实现开关噪声衰减RC滤波器。可通过在V_{DDA}和V_{DDP}引脚之间连接一个外部电阻来减小RC时间常量，但通常不需要如此。

© 2019 Microchip Technology Inc.

4.3 使能（EN）

EN引脚用于启动/停止为输出供电。它不会关断内部LDO。EN引脚不作为I^2C寄存器的复位信号，只有V_{DDA} UVLO电路作为其复位信号。

上升阈值为精确的1.21V±70 mV。135 mV典型滞后电压可防止因开关噪声和/或缓慢边沿而引起抖动。2 µA典型下拉电流（精度为±1 µA）可防止在EN引脚短暂悬空时发生意外启动。为了确保在达到足够电压时立即实现自动导通，请将EN连接到V_{DDA}。

4.4 电源正常（PG）

PG为漏极开路输出。为了置为逻辑高电平，PG需要通过一个外部电阻连接到5.5V以内的上拉电压（V_{PU_PG}）。

当输出电压（OUTSNS）达到其目标调节电压的92.5%时，PG将在0.45 ms（典型值）的延时后置为有效。当输出电压降至其目标调节电压的90%以下时，PG将在80 µs（典型值）的延时后置为无效。PG下降延时用作针对极短尖峰的抗毛刺定时器。当EN引脚低于供电使能阈值（EN_R/EN_F）时，PG输出始终立即置为无效。上拉电阻应足够大以将PG引脚电流限制在2 mA以下。一旦V_{DDA}电压大于约1V，PG就会处于确定的状态，但灌电流能力会有所降低。

每当检测到V_{DDA}处于欠压状态或热关断时，PG也会立即置为无效（无延时）。

4.5 电感（LX）和自举（BST）

外部电感连接到LX。上桥臂MOSFET驱动器电路通过BST和LX之间的外部电容（典型值为100 nF）供电，外部电容在下桥臂MOSFET导通期间从V_{DDP}电压轨补充电荷。自举二极管是内部二极管。

4.6 输出检测（OUTSNS）和补偿（COMP）

OUTSNS应准确连接到所需的负载点调节，避免产生寄生电阻压降。OUTSNS上的阻抗较高（几十kΩ或更大，具体取决于所选的输出电压值），因此其负载效应通常可忽略不计。斜率补偿发生器也使用OUTSNS。

COMP是外部补偿网络的连接引脚。COMP由跨导误差放大器的输出驱动。必须小心地将补偿网络地直接返回到A_{GND}。

4.7 软启动

MIC24045具有可通过I^2C选择的四种不同软启动压摆率值（0.16V/ms、0.38V/ms、0.76V/ms 和 1.5V/ms）。有关值和代码映射的信息，请参见寄存器映射和I^2C可编程性部分。内部参考以所选速率升高。请注意，这是内部参考软启动压摆率，输出的实际压摆率应考虑内部分压器衰减，详细信息请参见应用信息部分。

4.8 启动延时

MIC24045具有可通过I^2C选择的八种不同启动延时（0 ms至10 ms）。它们代表从EN上升沿到供电开始的附加延时（软启动）。有关值和代码映射的信息，请参见寄存器映射和I^2C可编程性部分。

4.9 开关频率

MIC24045具有可通过I^2C选择的八种不同开关频率（310 kHz至1200 kHz）。有关值和代码映射的信息，请参见寄存器映射和I^2C可编程性。另请注意因最小t_{ON}和t_{OFF}引起的电压转换比限制，如应用信息部分所述。

4.10 预偏置输出启动

MIC24045设计为在不对输出电容放电的情况下实现从安全启动到预偏置输出的过程。

4.11 热警告和热关断

MIC24045具有热关断保护，可防止在过高温度下工作。热关断阈值典型值为+160°C，滞后+25°C。

MIC24045具有热警告标志，可通过I^2C接口读取（需要进行寄存器轮询操作）。热警告标志用于通知即将发生热关断，以便采取适当的系统级对策。

请注意，热关断事件不会禁止内部V_{DDA}线性稳压器，只会禁止功率级。因此，I^2C接口在热关断期间保持通电且仍可读取。

© 2019 Microchip Technology Inc.

4.12 过流保护

MIC24045在下桥臂和上桥臂开关上都具有瞬时逐周期电流限制功能（提供电流检测）。它还提供间断模式来应对长时间过载或短路状态。

下桥臂逐周期保护检测下桥臂MOSFET导通期间的电感电流的大小。只要下桥臂MOSFET电流限值高于下桥臂电流限制阈值，就会禁止上桥臂MOSFET导通。电感电流将继续衰减，直到电流降至阈值以下，此时上桥臂MOSFET将根据PWM调制器的占空比要求再次使能。

具体机制如图4-1所示。

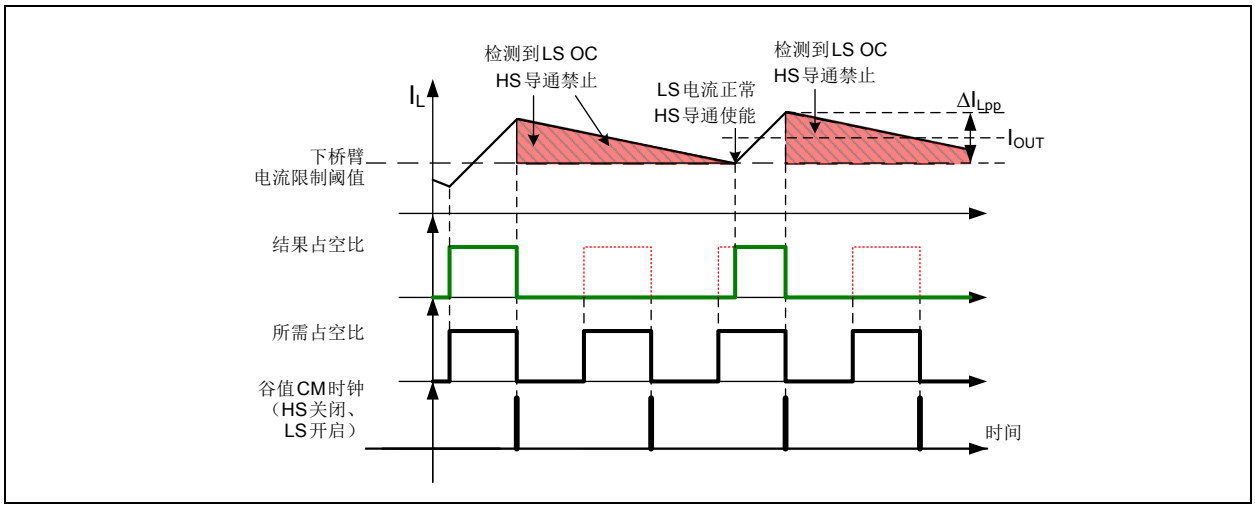


***图4-1：** 下桥臂逐周期电流限制操作*

下桥臂电流限制可编程为四种不同的级别（适合2A、3A、4A和5A负载），通过优化电感大小满足不同的应用需求。寄存器映射和I²C可编程性列出了这些级别。

由于下桥臂电流限值作用于谷值电流，因此使用下桥臂逐周期电流限值时的直流输出电流（I_{OUT}）将比电流限值高$\Delta IL_{PP}/2$，其中ΔIL_{PP}为峰-峰电感纹波电流。

上桥臂电流限值约比下桥臂电流限值（典型值）大1.4 – 1.5倍。上桥臂逐周期电流限制功能会立即截断上桥臂导通时间，而不会等待关闭时钟事件。

上桥臂逐周期电流限制功能提供了前沿消隐（Leading Edge Blanking，LEB）定时器（典型值为108 ns）来屏蔽开关噪声并防止误触发保护功能。在LEB定时器超时之前，不能进行上桥臂逐周期电流限制操作。

间断模式保护可以降低永久短路状态下的功耗。在检测到下桥臂逐周期电流限制事件的每个时钟周期中，4位递增/递减计数器将递增。在没有并发下桥臂电流限制事件的每个时钟周期中，计数器将递减或保持为零。

计数器无法在0000以下和1111以上返回。上桥臂电流限制事件不会使计数器递增。只有检测到下桥臂电流限制事件时，才会触发计数器。

如果计数器达到1111（即15个事件），则上桥臂和下桥臂MOSFET将变为三态，禁止向输出供电，持续时间取决于软启动速率，可以通过以下公式计算：

公式4-1：

$$禁止时间 = \frac{13.5V}{SS_SRx}$$

其中：

SS_SRx = 所选软启动速率（SS_SRx = SS_SR0、SS_SR1、SS_SR2或SS_SR3）。请参见电气特性表。

这种数字集成机制可防止输出瞬时过载。等待时间后，MIC24045将重新尝试进入工作状态，并启动新的软启动序列。

请注意，间断模式短路保护始终处于活动状态，包括软启动斜坡期间。如果输出电容非常大，请考虑降低软启动压摆率以防止启动时出现问题，尤其是在间断等待时间内负载使输出电容完全放电的情况下。

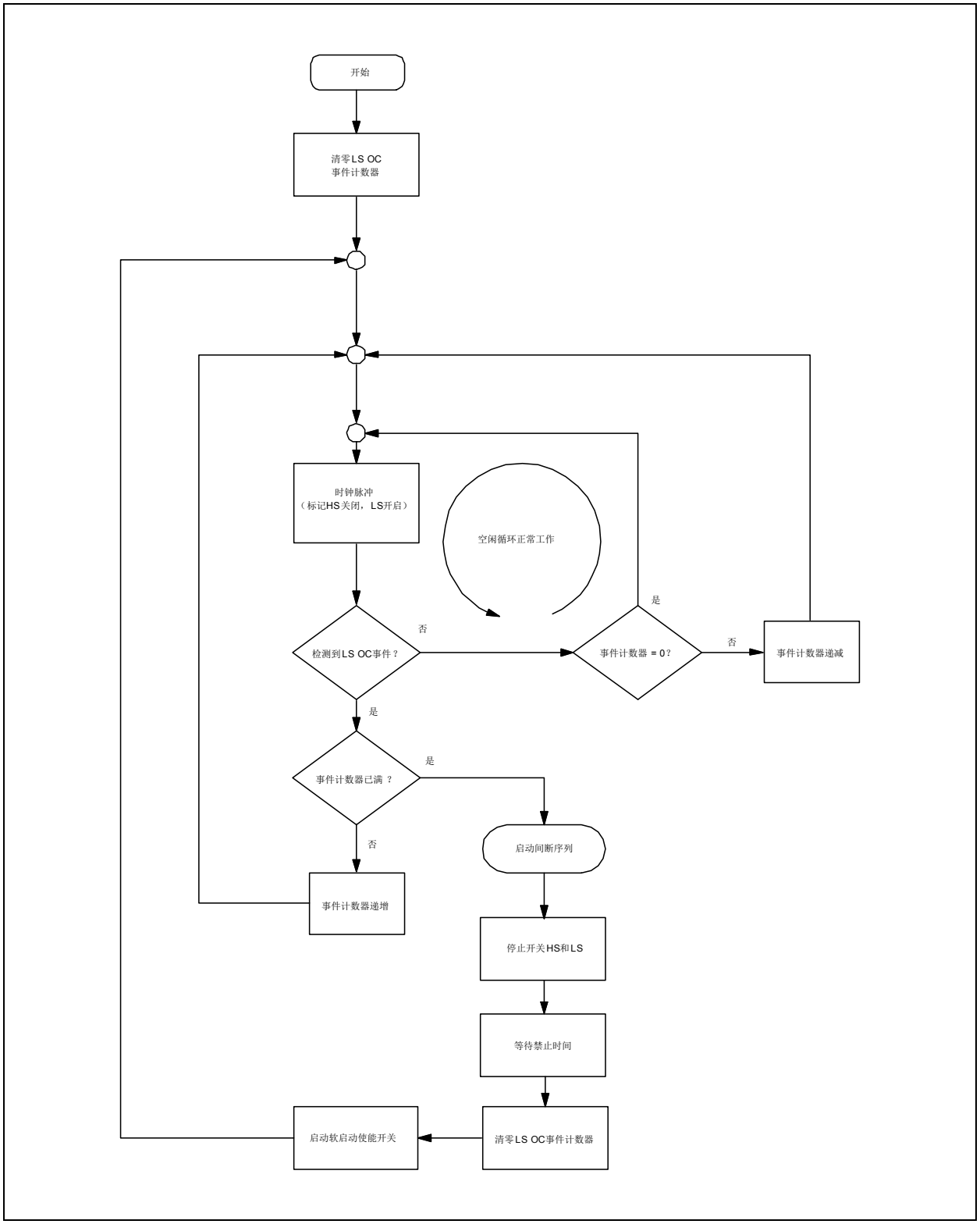


***图4-2：** 间断短路保护流程图*

© 2019 Microchip Technology Inc.

5.0 寄存器映射和I²C可编程性

下面的表5-1汇总了MIC24045的内部寄存器。

表5-1： MIC24045寄存器映射

寄存器地址	寄存器名称	类型	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
0h	Status	RO	OCF	ThSDF	ThWrnF	保留	EnS	保留	保留	PGS
1h	Setting 1	RW	ILIM1	ILIM0	Freq2	Freq1	Freq0	保留	保留	保留
2h	Setting 2	RW	保留	SUDly2	SUDly1	SUDly0	Mrg1	Mrg0	SS1	SS0
3h	VOUT	RW	VOUT7	VOUT6	VOUT5	VOUT4	VOUT3	VOUT2	VOUT1	VOUT0
4h	Command	RW	保留	保留	保留	保留	保留	保留	保留	CIFF

5.1 STATUS寄存器

在只读STATUS寄存器中，提供诊断信息。其中的位可以为F = 锁存（标志）或S = 不锁存（状态）。

标志位在相应的故障条件发生时置1，并且在故障条件停止后不返回到零。标志只能通过在COMMAND寄存器4h的Bit 0中写入1或通过掉电再上电来清零。状态位在相应的故障条件发生时置1，并且在故障条件停止后自动回到零。

上电时的默认位值为零，Bit 2（始终读为1）和Bit 1（如果没有检测到故障条件，则为1）除外。

寄存器5-1： STATUS——状态寄存器（地址0h）

R-0	R-0	R-0	R'0'	R-0	R'1'	R-1	R-0
OCF	ThSDF	ThWrnF	保留	EnS	保留	保留	PGS
bit 7							bit 0

图注：			
R = 可读位	W = 可写位	U = 未实现位，读为0	
-n = POR时的值	1 = 置1	0 = 清零	x = 未知
RC = 读取后清零位			

bit 7 **OCF**：过流标志位。每当发生过流事件时，OCF都置为高电平。锁存。

bit 6 **ThSDF**：热关断标志位。每当发生热关断时，ThSDF都置为高电平。锁存。

bit 5 **ThWrnF**：热警告标志位。每当发生热警告时，ThWrnF都置为高电平。锁存。

bit 4 **保留**：标志位。始终读为零。

bit 3 **EnS**：使能引脚状态位。EnS反映EN引脚上的逻辑值。不锁存。

bit 2 **保留**：状态位。始终读为1。

bit 1 **保留**：POR时的默认状态为1（未检测到故障）。

bit 0 **PGS**：电源正常状态位。PGS反映PG引脚上的逻辑值。不锁存。

寄存器5-2： SETTING 1——设置1寄存器（地址1h）

RW-V	RW-V	RW-V	RW-V	RW-V	U-0	U-0	U-0
ILIM1	ILIM0	Freq2	Freq1	Freq0	保留	保留	保留
bit 7							bit 0

图注：			
R = 可读位	W = 可写位	U = 未实现位，读为0	
-n = POR时的值	1 = 置1	0 = 清零	x = 未知
RC = 读取后清零位	V = 出厂编程的POR值(1)		

注 1： 上电时的默认状态设置可以在出厂时更改。关于标准选择，请参见MIC24045上电时的默认设置值部分。通过I^2C改写默认设置后并非永久有效，在掉电再上电后将恢复为出厂默认值。

2： 不建议在使能供电时更改Setting 1寄存器值。要通过I^2C更改设置，首先将EN引脚置为低电平，然后写入新配置，最后将EN引脚再次置为高电平以恢复供电。

© 2019 Microchip Technology Inc.

寄存器5-2： SETTING 1——设置1寄存器（地址1h）（续）

bit 7-6 **ILIM<1:0>**：MOSFET电流限值位。请参见下表中的电流限值选择：

ILIM1	ILIM0	典型下桥臂电流限值（A）	典型上桥臂电流限值（A）	标称负载电流（A）
0	0	3.25	4.7	2
0	1	4.3	6.2	3
1	0	5.6	8.6	4
1	1	6.2	9.4	5

bit 5-3 **Freq0（开关频率）**：请参见下表中的开关频率选择：

Freq2	Freq1	Freq0	频率（kHz）
0	0	0	310
0	0	1	400
0	1	0	500
0	1	1	570
1	0	0	660
1	0	1	780
1	1	0	970
1	1	1	1200

bit 2-0 **保留**：未实现位。读为0。

注 1：上电时的默认状态设置可以在出厂时更改。关于标准选择，请参见MIC24045上电时的默认设置值部分。通过I^2C改写默认设置后并非永久有效，在掉电再上电后将恢复为出厂默认值。

2：不建议在使能供电时更改Setting 1寄存器值。要通过I^2C更改设置，首先将EN引脚置为低电平，然后写入新配置，最后将EN引脚再次置为高电平以恢复供电。

© 2019 Microchip Technology Inc.

寄存器5-3： SETTING 2——设置2寄存器（地址2h）

U-0	RW-V	RW-V	RW-V	RW-0	RW-0	RW-V	RW-V
保留	SUDly2	SUDly1	SUDly0	Mrg1	Mrg0	SS1	SS0
bit 7							bit 0

图注：			
R = 可读位	W = 可写位	U = 未实现位，读为0	
-n = POR时的值	1 = 置1	0 = 清零	x = 未知
RC = 读取后清零位	V = 出厂编程的POR值(1)		

bit 7 **保留：**未实现位。读为0。写入该位没有任何作用。

bit 6-4 **SUDly<2:0>：**启动延时位。从EN信号的上升沿到开始供电的延时。请参见下表中的启动延时选择：

SUDly2	SUDly1	SUDly0	启动延时（ms）
0	0	0	0
0	0	1	0.5
0	1	0	1
0	1	1	2
1	0	0	4
1	0	1	6
1	1	0	8
1	1	1	10

bit 3-2 **Mrg<1:0>：**电压裕度位。在供电期间，可以随时更改这两位。请参见下表中的电压裕度选择：

Mrg1	Mrg0	相对于标称V_{OUT}设置的变化（%）
0	0	0%
0	1	-5%
1	0	+5%
1	1	+5%

上电时的默认值为<0:0>

bit 1-0 **SS1<1:0>：**软启动斜坡速率位。请参见下表中的软启动斜坡速率选择：

SS1	SS0	软启动斜率（V/ms）
0	0	0.16
0	1	0.38
1	0	0.76
1	1	1.5

注 1： 对于所有位（裕度位 Mrg<1:0> 除外），上电时的默认状态可以在出厂时更改。关于标准选择，请参见MIC24045上电时的默认设置值部分。通过I^2C改写默认设置后并非永久有效，在掉电再上电后将恢复为出厂默认值。Mrg<1:0>的默认上电状态为<0:0>。

2： 除裕度位Mrg<1:0>外，不建议在使能供电时更改SETTING 2寄存器值。要通过I^2C更改设置，首先将EN引脚置为低电平，然后写入新配置，最后将EN引脚再次置为高电平以恢复供电。

© 2019 Microchip Technology Inc.

寄存器5-4：　VOUT——VOUT寄存器（地址3h）

RW-V	RW-V	RW-V	RW-V	RW-V	RW-V	RW-V	RW-V
VOUT7	VOUT6	VOUT5	VOUT4	VOUT3	VOUT2	VOUT1	VOUT0
bit 7							bit 0

图注：			
R = 可读位	W = 可写位	U = 未实现位，读为0	
-n = POR时的值	1 = 置1	0 = 清零	x = 未知
RC = 读取后清零位	V = 出厂编程的POR值(1)		

bit 7-0　**VOUT<7:0>：**在供电期间可以随时更改VOUT寄存器位，前提是从一个代码到另一个代码的切换：

- 以较小的VOUT增量逐步完成。转换的速度由用户决定，但受I^2C写入接口速度的限制。
- 代码切换只能在相同的VOUT范围内进行。超出分辨率范围的边界可能会导致VOUT出现毛刺，因此不建议这样做。

请参见下表中的VOUT选择：

VOUT范围	步长	代码（十进制（十六进制））
0.640V至1.280V	5 mV	0（00h）至128（80h）
1.290V至1.950V	10 mV	129（81h）至195（C3h）
1.980V至3.420V	30 mV	196（C4h）至244（F4h）
4.750V至5.250V	50 mV	245（F5h）至255（FFh）

注 1： 上电时的默认状态设置可以在出厂时更改。关于标准选择，请参见MIC24045上电时的默认设置值部分。通过I^2C改写默认设置后并非永久有效，在掉电再上电后将恢复为出厂默认值。

2： 在任何输出电压选择下，MIC24045的功能都会受到应用信息中所述的限制。

寄存器5-5：　COMMAND——命令寄存器（地址4h）

RW-0	RW-0	RW-0	RW-0	RW-0	RW-0	RW-0	RW-0
保留	保留	保留	保留	保留	保留	保留	CIFF
bit 7							bit 0

图注：			
R = 可读位	W = 可写位	U = 未实现位，读为0	
-n = POR时的值	1 = 置1	0 = 清零	x = 未知
RC = 读取后清零位			

bit 7-1　**保留<7:1>：**写入这些位对器件操作没有影响。

bit 0　**CIFF：**清零故障标志位。向bit 0写入1将清零所有故障标志。CIFF位自清零，其在故障标志清零后立即返回到0。

6.0 MIC24045上电时的默认设置值

在进行任何I^2C写入操作之前，部件编号MIC24045-XXYFL还会指定不同的上电默认设置值。这些值在出厂时进行编程。

通过烧写OTP存储器（熔丝）获得不同的默认设置。**XX**代码对应于输出电压、开关频率、标称负载电流和软启动斜坡速率的某种组合。启动延时和电压裕度始终默认为0 ms和0%。空白（全零）OTP存储器选项具有特殊代码（**2Z**）。

表6-1列出了标准默认设置。有关其他默认设置的可用性，请联系最近的Microchip销售办事处。

表6-1： 标准默认设置

完整部件编号	代码	V_{OUT}（V）	频率	负载电流	参考软启动速率
MIC24045-2ZYFL	**2Z**	0.64	310 kHz	2A	0.16V/ms
MIC24045-DIYFL	**DI**	1.0	780 kHz	5A	0.38V/ms
MIC24045-EIYFL	**EI**	1.2	780 kHz	5A	0.38V/ms
MIC24045-JFYFL	**JF**	3.3	570 kHz	5A	0.38V/ms
MIC24045-KDYFL	**KD**	5.0	570 kHz	3A	0.38V/ms

掉电再上电后，无论先前通过I^2C总线进行任何设置，MIC24045用户可编程寄存器都将恢复为出厂编程的默认设置值。请注意，EN引脚不作为用户可编程寄存器的复位信号，只有基于V_{DDA}电压UVLO的内部POR（上电复位）作为其复位信号（见功能框图）。

© 2019 Microchip Technology Inc.

7.0 应用信息

7.1 编程外部UVLO

EN引脚可用于编程在V_{IN}（或V_{INLDO}）电源轨超出所需阈值时自动导通MIC24045。该可编程UVLO功能按图7-1所示实现。

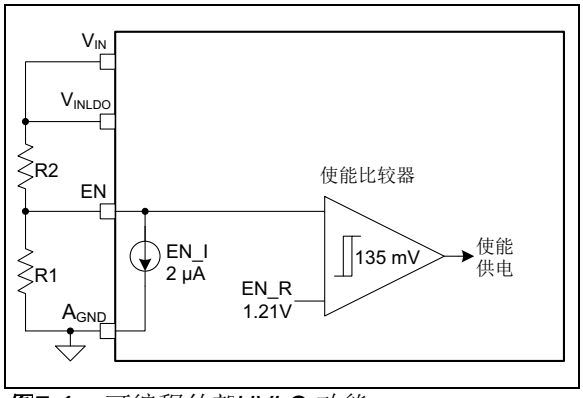


***图7-1：** 可编程外部UVLO功能*

编程的V_{IN} UVLO阈值V_{IN_RISE}按如下公式计算：

公式7-1：

$$V_{IN_RISE} = EN_R \times \left(1 + \frac{R2}{R1}\right) + EN_I \times R2$$

其中：

EN_R = 1.21V
EN_I = 2 µA
RI，R2 = 外部电阻

为了降低V_{IN} UVLO阈值对上拉电流EN_I的变化的灵敏度，建议使运行R1-R2分压器的电流显著高于EN_I电流。

相应V_{IN} UVLO滞后V_{IN_HYS}按如下公式计算：

公式7-2：

$$V_{IN_HYS} = 135\ mV \times \left(1 + \frac{R2}{R1}\right)$$

7.2 输出电压检测

为了实现精确的输出电压调节，OUTSNS引脚（内部反馈分压器顶部端子）应采用开尔文连接并尽可能靠近调节点顶部端子。由于内部参考和内部反馈分压器的底部端子均指A_{GND}，因此必须最大程度减小A_{GND}与调节点返回端子之间的压降。

7.3 V_{OUT}动态更改

通过向寄存器5-4（地址3h）写入不同的值，可以在供电期间动态更改输出电压。请注意，V_{OUT}仅可在每个V_{OUT}范围内进行更改，如寄存器5-4中的VOUT选择表中所列。

从一个特定V_{OUT}值到另一个特定值的切换受I^2C接口的控制。从一个代码到另一个代码的步数以及切换的速度由最终用户决定。

由重复启动（Sr）分隔的单次写指令可用于后续多次更新寄存器5-4，而无需释放I^2C总线。更多详细信息，请参见具有重复启动（Sr）命令的单次写操作部分。

最小t_{SU_STA}规范（重复启动条件的建立时间）、SCL频率和单次写报文的长度（3个字节）决定了对寄存器5-4中VOUT代码最大更新速率的限制。

在空载或轻载情况下，斜降输出电压意味着电感电流反向（即MIC24045将从输出电容中灌电流）。对于给定的负向V_{OUT}变化，输出电容值越大，反向电感电流越大。电压阶跃和斜坡阶跃速率应足够小，以保持反向电流幅值处于安全水平。使用较大的输出电容时，这一点尤为重要。

7.4 电感选择和斜率补偿

选择电感时，必须考虑以下因素：

- 电感
- 额定电流值
- 大小要求
- 直流电阻（DC Resistance，DCR）
- 磁芯损耗

电感值对于MIC24045的操作至关重要。因为MIC24045是一款谷值电流模式稳压器，因此在占空比低于50%的情况下需要通过斜率补偿来稳定电流回路操作。假定在给定工作条件下存在最小电感值，则根据频率、输出电压和标称负载电流选择对斜率补偿进行内部编程。

表7-1列出了建议用于稳定电流回路操作的假定最小电感值。请注意，应在考虑电感容差及其随电流大小变化的前提下满足建议的最小电感值。

表7-1： 建议的最小电感值

标称I_{OUT}	V_{OUT}	最小电感L_{MIN}（µH）							
3A-4A-5A	0.64V-1.28V	1.27	0.97	0.78	0.68	0.58	0.49	0.39	0.29
3A-4A-5A	1.29V-1.95V	1.96	1.51	1.21	1.06	0.91	0.76	0.61	0.45
3A-4A-5A	1.98V-3.42V	3.14	2.42	1.94	1.70	1.46	1.21	0.97	0.73
3A-4A-5A	4.57V-5.25V	3.69	2.36	2.27	1.99	1.70	1.42	1.14	0.85
2A	0.64V-1.28V	2.52	1.94	1.55	1.36	1.16	0.97	0.78	0.58
2A	1.29V-1.95V	4.07	3.13	2.50	2.18	1.87	1.56	1.25	0.94
2A	1.98V-3.42V	6.53	5.03	4.01	3.52	3.02	2.52	2.01	1.51
2A	4.57V-5.25V	9.14	6.99	5.60	4.91	4.18	3.49	2.80	2.10
—		**310**	**400**	**500**	**570**	**660**	**780**	**970**	**1200**

此外，还将根据输入输出电压差在内部调整斜率补偿。

在谷值电流控制模式的实际实现中，对于任何占空比大于50%的情况也会添加斜率补偿，旨在从一定程度上改善所有输入和输出电压范围内的电流回路稳定性和抗噪性。因此，对于占空比为80%以下的情况，MIC24045会添加内部斜率补偿信号。对于高于80%的情况，不添加斜率补偿。因此，当占空比超出80%时，PWM调制器增益将呈现突变，可能会导致抖动和噪声敏感度变大。如果考虑在占空比为80%左右或以上的情况下工作，则采用更为保守的补偿回路设计可能会有助于降低抖动和噪声敏感度。

电感额定电流通常以允许的直流电流和饱和电流的形式表示。允许的直流电流额定值对应于+20°C到+40°C的温升。饱和电流的额定值对应于10%到30%的电感损耗。请确保应用的标称电流完全处于电感允许的直流额定电流范围内，该额定范围由允许的温升决定。请注意，电感允许的直流额定电流通常不包括电感磁芯损耗。电感磁芯损耗会随激励频率迅速增加，因此在高频直流/直流转换器的总电感磁芯损耗中占很大比例，同时也是造成转换器温升的重要因素。

指定饱和电流时，请务必留有足够的设计裕度，以确保峰值电流不会导致电感进入深度饱和状态。

请注意电流限制中的电感饱和特性。即使在电流限制操作中，电感也不应该严重饱和。如果严重饱和，电流可能会瞬时失控，甚至可能达到破坏性的程度。通常，铁氧体磁芯电感具有硬饱和特性，而铁粉或复合电感则具有软饱和特性。峰值电流可使用公式7-3计算。

公式7-3：

$$I_{L,PEAK} = \left[I_{OUT} + V_{OUT} \left(\frac{1 - V_{OUT} / V_{IN}}{2 \times f_S \times L} \right) \right]$$

如公式7-3所示，峰值电感电流随着开关频率和电感的增大而减小。在给定I_{OUT}负载电流的情况下，开关频率或电感越低，峰值电流越高。随着输入电压的增加，峰值电流也会增加。

7.5 输出电容选择

两个主要要求决定了输出电容C_{OUT}的大小和特性：

- 稳态纹波
- 负载瞬变时的最大电压偏差

对于稳态纹波计算，ESR和电容纹波均影响总纹波幅值。

© 2019 Microchip Technology Inc.

已知开关频率、输入电压、输出电压设置和负载电流时，峰-峰电感电流纹波和峰值电感电流可按如下公式计算：

公式7-4：

$$\Delta I_{L_PP} = V_{OUT}\left(\frac{1 - V_{OUT}/V_{IN}}{f_S \times L}\right)$$

公式7-5：

$$I_{L,PEAK} = I_{OUT} + \frac{\Delta I_{L_PP}}{2}$$

电容纹波$\Delta V_{R,C}$和ESR纹波$\Delta V_{R,ESR}$按如下公式计算：

公式7-6：

$$\Delta V_{R,C} = \frac{\Delta I_{L_PP}}{8 \times f_S \times C_{OUT}}$$

公式7-7：

$$\Delta V_{R,ESR} = ESR \times \Delta I_{L_PP}$$

总峰-峰输出纹波随即按如下公式保守估算：

公式7-8：

$$\Delta V_R \cong \Delta V_{R,C} + \Delta V_{R,ESR}$$

选择输出电容值和ESR时应确保ΔV_R符合规范。最坏情况下的计算应考虑电容容差。使用陶瓷输出电容时，会考虑到有效电容随所施加直流偏置而减小的因素。

当电感电流处于其峰值时，输出电容计算的最坏负载瞬变为瞬时从100%变为0%的负载释放。在这种情况下，电感中存储的所有能量都被输出电容吸收，同时转换器会停止开关并使下桥臂FET导通。

当电感电流衰减为零时，会出现峰值输出电压过冲（ΔV_{OUT}）。该值可使用公式7-9计算：

公式7-9：

$$\Delta V_{OUT} = \sqrt{V_{OUT}^2 + \frac{L}{C_{OUT}} I_{L,PEAK}^2} - V_{OUT}$$

公式7-10计算将输出过冲限制到ΔV_{OUT}以下所需的最小输出电容值（$C_{OUT(MIN)}$）。

公式7-10：

$$C_{OUT(MIN)} = \frac{L \times I_{L,PEAK}^2}{(\Delta V_{OUT} + V_{OUT})^2 - V_{OUT}^2}$$

负载瞬变的最小输出电容值的结果是大多数应用中电容值的最严格要求。推荐使用具有X5R或X7R温度特性的低等效串联电阻（Equivalent Series Resistance，ESR）陶瓷输出电容。

对于具有严苛负载瞬变要求的低输出电压应用，组合使用极化电容和陶瓷输出电容对于实现最小尺寸解决方案可能是最方便的。

7.6 输入电容选择

两个主要要求决定了输入电容的大小和特性：

- 稳态纹波
- RMS电流

降压转换器输入电流是上升和下降时间极短的脉冲串，因此推荐使用具有良好高频特性的低ESR陶瓷电容进行输入滤波。

对于理想的输入滤波（假定馈送到已滤波降压功率级的直流输入电流），在忽略电容ESR对输入纹波影响的前提下（通常适用于陶瓷输入电容），给定输入峰-峰纹波电压$\Delta V_{r,IN}$所需的最小电容值$C_{IN(MIN)}$可以使用公式7-11估算：

公式7-11：

$$C_{IN(MIN)} = \frac{I_{OUT} \times D \times (1 - D)}{\Delta V_{r,IN} \times f_S}$$

其中：

D = 给定工作点的占空比

输入电容的RMS电流$I_{IN,RMS}$使用公式7-12进行估算：

公式7-12：

$$I_{IN,\,RMS} = I_{OUT} \times \sqrt{D \times (1 - D)}$$

请注意，对于给定的输出电流I_{OUT}，最坏情况下的值在D = 0.5时获得。

可以使用多个输入电容来降低输入纹波幅值和/或单个电容的RMS电流。

7.7 补偿设计

可以采用简单的一阶近似将谷值电流模式控制的降压功率级建模为压控电流源，为输出电容和负载馈电。电感电流的状态变量将移除，并且从COMP到电感的电流的功率级传递函数将建模为跨导（Gm_{PS}）。图7-2给出了控制回路的简化模型。功率级跨导Gm_{PS}在一定程度上与电流的大小相关，并且在某种程度上还受工艺差异的影响，因此建议针对典型值Gm_{PS} = 12.5A/V增加一些设计裕度（见**电气特性**）。

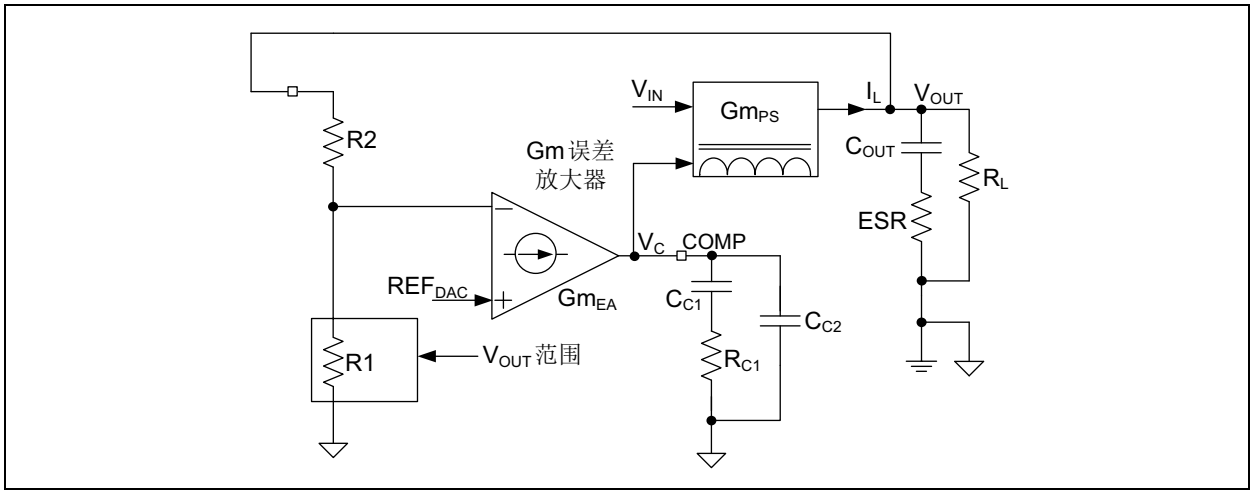


图7-2：稳压回路的简化小信号模型

这种简化方法忽略了与内部电流回路相关的所有问题，例如其稳定性和带宽。这种近似足以应对大多数工作情形，即电压回路带宽不会升至极高频率的情形。

根据图7-2中所示的模型，控制-输出传递函数为：

公式7-13：

$$G_{CO(S)} = \frac{V_{OUT(S)}}{V_{C(S)}} = Gm_{PS} \times R_L \times \frac{\left(1 + \frac{s}{2\pi \times f_z}\right)}{\left(1 + \frac{s}{2\pi \times f_p}\right)}$$

其中：

f_Z, f_P = 与输出电容ESR零点以及负载极点关联的频率：

$$f_Z = \frac{1}{2\pi \times C_{OUT} \times ESR}$$

$$f_P = \frac{1}{2\pi \times C_{OUT} \times (ESR + R_L)}$$

MIC24045使用跨导（Gm_{EA} = 1.4 mA/V）误差放大器。通过将II型网络（R_{C1}、C_{C1}和C_{C2}）从COMP连接到A_{GND}来实现频率补偿。补偿器传递函数包括零点直流稳压误差的积分器、用于提高交叉频率周围总回路增益相位裕量的零点以及可用于消除输出电容ESR零点或进一步衰减开关频率纹波的附加极点。在这两种情况下，附加极点均可降低稳压回路对开关频率噪声的敏感度。附加极点通过电容C_{C2}创建。公式7-14详细列出了补偿器传递函数$H_{C(S)}$（从OUTSNS到COMP）。

公式7-14：

$$H_{C(S)} = -\frac{R1}{R1 + R2} \times Gm_{EA} \times \frac{1}{S \times (C_{C1} + C_{C2})} \times \frac{1 + S \times R_{C1} \times C_{C1}}{\left(1 + S \times R_{C1} \times \frac{C_{C1} \times C_{C2}}{C_{C1} + C_{C2}}\right)}$$

© 2019 Microchip Technology Inc.

总电压回路增益$T_{V(S)}$是控制-输出和补偿器传递函数的乘积：

公式7-15：

$$T_{V(S)} = G_{CO(S)} \times H_{C(S)}$$

衰减比R1/(R1 + R2)的值取决于输出电压选择，可从表7-2中获取：

表7-2： 内部反馈分压器的衰减值

V_{OUT}范围	R1/(R1 + R2)	A (A = 1 + R2/R1)
0.640V – 1.280V	1	1
1.290V – 1.950V	0.5	2
1.980V – 3.420V	0.333	3
4.750V – 5.250V	0.2	4

补偿设计过程如下：

1. 将 $T_{V(S)}$ 回路增益交叉频率 f_{XO} 设置为 $f_S/20$ 到 $f_S/10$范围的值。f_{XO}的值较低时，相位裕量更易预测且比较稳健。f_{XO}的值较高时，需额外考虑电路回路带宽，以实现稳健的相位裕量。强烈建议采取更保守的方法。

公式7-16：

$$f_{XO} \approx \frac{f_S}{20}$$

2. 选择 R_{C1} 以实现整个电压回路的目标交叉频率f_{XO}。这通常发生在功率级传递函数$G_{CO(S)}$以–20 dB/十倍频下降时。补偿器传递函数$H_{C(S)}$位于所谓的中频带增益区域，其中C_{C1}可以看作隔直短路，而C_{C2}仍可以看作开路，公式7-17给出了计算方法：

公式7-17：

$$R_{C1} = \left(\frac{R1 + R2}{R1}\right) \times \frac{2\pi \times C_{OUT} \times f_{XO}}{Gm_{EA} \times Gm_{PS}}$$

3. 选择电容 C_{C1}，将补偿器零点置于负载极点。负载极点随负载变化移动，因此为计算负载极点，将应用在输出电压V_{OUT}下产生标称输出电流I_{OUT}的等效阻值用作负载电阻R_L，如公式7-18和公式7-19所示：

公式7-18：

$$R_L = \frac{V_{OUT}}{I_{OUT}}$$

公式7-19：

$$C_{C1} = \frac{C_{OUT} \times (ESR + R_L)}{R_{C1}}$$

4. 选择电容C_{C2}，将补偿器极点置于输出电容ESR零点频率f_Z或≥ 5 f_{XO}处（取频率较低者）。

C_{C2}用于在输出电容ESR零点的频率放置补偿器极点和/或实现额外的开关纹波/噪声衰减。

如果输出电容经过极化，其ESR零点通常会在足够低的频率下出现，这会导致回路增益曲线变平，并且不在交叉频率f_{XO}周围或之后以–20 dB/十倍频斜率下降。这将导致补偿设计稳健性和对开关噪声的敏感度不足等不利后果。随后，补偿器极点用于消除输出电容ESR零点，并在交叉频率以上实现良好的回路增益下降性能。

如果输出电容仅为陶瓷电容，则ESR零点频率可能非常高。在许多情况下，频率甚至可能高于开关频率本身。确保在远超出交叉频率时环路增益以–20 dB/十倍频下降，但即使在这种情况下，最好仍利用补偿器极点来进一步衰减开关噪声，同时保留交叉频率下的相位裕量。例如，以5 f_{XO}设置补偿器极点会将其在交叉频率处的相关相位损失限制为约11°。在更高频率（$N \times f_{XO}$，$N > 5$）下放置补偿器极点将进一步降低相位损失，代价是开关频率处的噪声/纹波衰减减小。只要$N \times f_{XO} < f_S$，就可以实现开关频率噪声/纹波的某种衰减。

对于极化的输出电容，在ESR零点频率放置补偿器极点，如下面的公式7-20所示：

公式7-20：

$$C_{C2} = \frac{1}{\frac{R_{C1}}{C_{OUT} \times ESR} - \frac{1}{C_{C1}}}$$

对于陶瓷输出电容，在$N \times f_{XO}$（$N \geq 5$，$N \times f_{XO} < f_S$）放置补偿器极点，详细信息请参见公式7-21：

公式7-21：

$$C_{C2} = \frac{1}{2\pi \times R_{C1} \times N \times f_{XO} - \frac{1}{C_{C1}}}$$

7.8 输出电压软启动速率

MIC24045内部具有可通过I^2C编程的软启动，因此输出电压可以平滑地升至目标调节电压。电气特性给出的软启动速率是指误差放大器参考，因此，模块输出端的有效软启动速率值必须根据表7-2中列出的内部反馈分压器衰减值进行调整。要根据特定的输出电压设置和参考软启动压摆率SS_SRx（x = 0、1、2或3，具体取决于选择）计算有效的输出电压软启动压摆率SS_SR_{OUT}，请使用以下公式：

公式7-22：

$$SS_SR_{OUT} = A \times SS_SRx$$

其中：

A = 放大率（关于A值，请参见表7-2。）

7.9 最小t_{ON}和最小t_{OFF}限制

MIC24045采用的谷值电流控制模式方法支持非常短的最短可控导通时间（约26 ns），因此可以在高频下从19V转换为非常低的电压。请注意，如果导通时间短于上桥臂开关电流限制前沿消隐时间（LEB，见电气特性），则上桥臂电流限制电路可能无法检测到过流事件。

相反，谷值电流模式调制器操作需要最短关断时间。该$t_{OFF(MIN)}$规范（见电气特性）会限制给定V_{IN}电压条件下可达到的最大输出电压。可达到的最大输出电压（空载时）按如下公式计算：

公式7-23：

$$V_{OUT(MAX)} = V_{IN} \times (1 - f_S \times t_{OFF(MIN)})$$

建议为直流负载针对$V_{OUT(MAX)}$的计算值使用安全裕度，以确保良好的动态性能。

© 2019 Microchip Technology Inc.

8.0 I²C接口说明

I²C总线用于不同IC或模块之间的双向双线通信。双线是指串行数据线（SDA）和串行时钟线（SCL）。这两条线均必须通过上拉电阻连接到正电源。只有在总线不忙时才可以启动数据传输。MIC24045是仅从器件（即它不能产生SCL信号，并且没有SCL时钟延长功能）。每次与MIC24045之间的数据传输都必须由驱动SCL线的主器件启动。

MIC24045是一种快速模式器件，支持最高400 kbps的数据传输。

MIC24045器件假设总线上的I²C逻辑电平由在3.3V标称电源电压（±10%容差）下工作的器件产生。因此，V_{IH}和V_{IL}与MIC24045的V_{DDA}值无关。SDA和SCL线不得上拉至MIC24045的V_{DDA}电压，而应上拉至I²C主器件接口电源电压（3.3V标称值）。

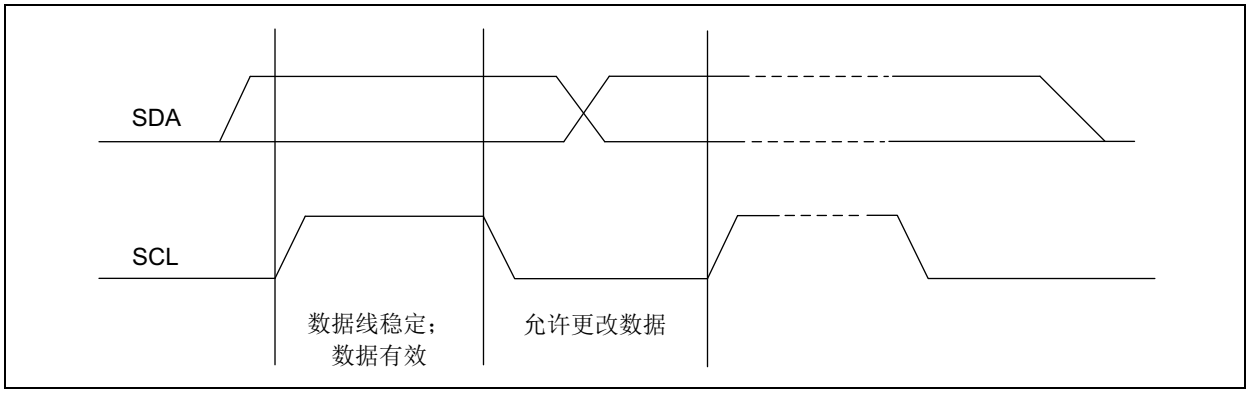


***图8-1：** 位传输*

8.1 位传输

每个时钟脉冲传输一个数据位。因为在时钟脉冲的高电平周期，数据线的变化会被解析为控制信号，所以此时SDA线上的数据必须保持稳定。

8.2 启动和停止条件

当总线不忙时，数据线和时钟线都保持高电平。当时钟为高电平时，数据线从高电平跳变到低电平被定义为启动（S）或重复启动（Sr）条件。当时钟为高电平时，数据线从低电平跳变到高电平被定义为停止（P）条件。启动和停止条件始终由主器件生成。在启动条件之后，总线被视为繁忙。在停止条件之后的一段时间，总线被再次视为空闲。如果生成了重复启动（Sr）条件（而非停止条件），则总线保持繁忙状态。

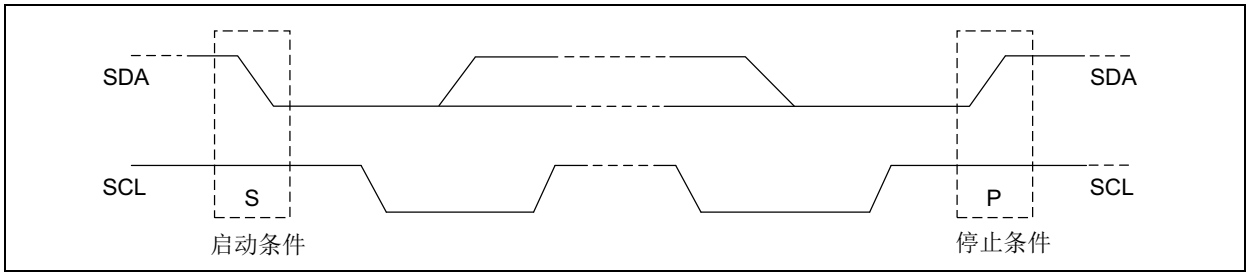


***图8-2：** 启动和停止条件*

8.3 器件地址

MIC24045器件使用7位地址，该地址由硬件使用三态引脚ADR0和ADR1（高电平、低电平或高组态）设置。这两个三态引脚可设置九种不同的地址，如下面的表8-1所列。

表8-1： MIC24045 I²C地址设置

ADR1	ADR0	I²C地址
0	0	101 0000
0	1	101 0001
1	0	101 0010
1	1	101 0011
0	高阻态	101 0100
高阻态	0	101 0101
1	高阻态	101 0110
高阻态	1	101 0111
高阻态	高阻态	101 1000

8.4 应答

在启动条件和停止条件之间，从发送器传输到接收器的数据字节数不受限制。每八位字节后都有一个应答位。应答位是发送器置于总线上的高电平，而主器件会产生一个额外的应答相关时钟脉冲。应答的器件必须在应答时钟脉冲期间下拉SDA线，以便在应答相关时钟脉冲的高电平周期使SDA线稳定为低电平；必须考虑建立时间和保持时间。

被寻址的从接收器必须在接收到每个字节后产生应答。

同样，主接收器必须在接收到从发送器随时钟输出的每个字节（最后接收的字节除外）后产生应答。主接收器必须在发送器随时钟输出最后一个字节时不产生应答，以此向发送器发送数据结束信号。这种情况下，发送器必须将数据线保留为高电平，以使主器件产生停止条件。

8.5 总线事务

8.5.1 单次写操作

第一个字节的前七位构成从器件地址。第八位是LSb（最低有效位）。它确定报文的方向（R/W）。第一个字节的最低有效位为“零”表示主器件会将信息写入选定的从器件。该位为1则表示主器件将从从器件读取信息。发送地址时，系统中的每个器件都会将启动条件后的前七位与其地址进行比较。如果发生匹配，则器件会将自身视为被主器件寻址的从接收器或从发送器，具体取决于R/W位。

命令字节是一个数据字节，用于选择器件上的寄存器。命令字节的低六位确定需要写入的寄存器的地址。

输入端口的数据是需要写入所选寄存器的8位数据。接下来是从器件应答，然后是停止条件。

写命令如下所述，并在下面的时序图中进行了说明：

1. 发送启动序列
2. 发送7位从地址
3. 发送R/W位（0）以指示写操作
4. 等待从器件的应答
5. 发送命令字节（需要写入的地址）
6. 等待从器件的应答
7. 从主器件接收8位数据，并从MSb开始将其写入步骤5中指示的从寄存器
8. 从器件发出应答
9. 发送停止序列

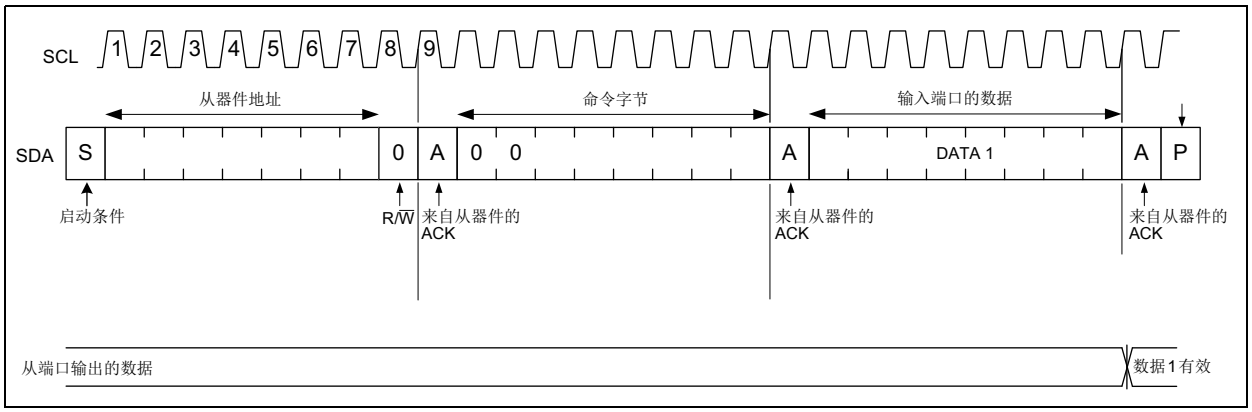


***图8-3：** 单次写操作时序图*

© 2019 Microchip Technology Inc.

注： 如果写入的寄存器单元不存在，MIC24045将在命令字节之后生成拒绝操作（NACK）。

8.5.2 具有重复启动（Sr）命令的单次写操作

在多主器件I^2C系统中，推荐使用此总线事务来多次执行V_{OUT}动态更改。

该序列与前一个单次写操作事务的序列大体相同，只是最后主器件发出的是重复启动条件（Sr）而不是停止条件（P），并且在主器件通过停止条件释放总线之前，会继续发生另一个（或更多）单次写操作。因此，主器件在第一次单次写操作后不会释放总线，并且可以多次完成V_{OUT}动态更改，而不受其他主器件的干扰。

具有重复启动（Sr）命令的单次写操作如下所述，并在下面的时序图图8-4中进行了说明：

1. 发送启动序列
2. 发送7位从地址
3. 发送R/W位（0）以指示写操作
4. 等待从器件的应答
5. 发送命令字节（需要写入的地址）
6. 等待从器件的应答
7. 从主器件接收8位数据（数据1），然后从MSb开始将其写入步骤5中指示的从寄存器
8. 从器件作出应答（寄存器使用数据1进行更新）
9. 发送启动序列
10. 发送7位从地址
11. 发送R/W位（0）以指示写操作
12. 等待从器件的应答
13. 发送命令字节（需要写入的地址）
14. 等待从器件的应答
15. 从主器件接收8位数据（数据2），然后从MSb开始将其写入步骤13中指示的从寄存器
16. 从器件作出应答（寄存器使用数据2进行更新）

可以根据需要连续多次执行步骤9到16以写入相同的寄存器（或步骤5和13中指示的另一个有效可写寄存器），而不发送停止序列。主器件将通过生成停止条件来结束最后一次写操作的数据传输。

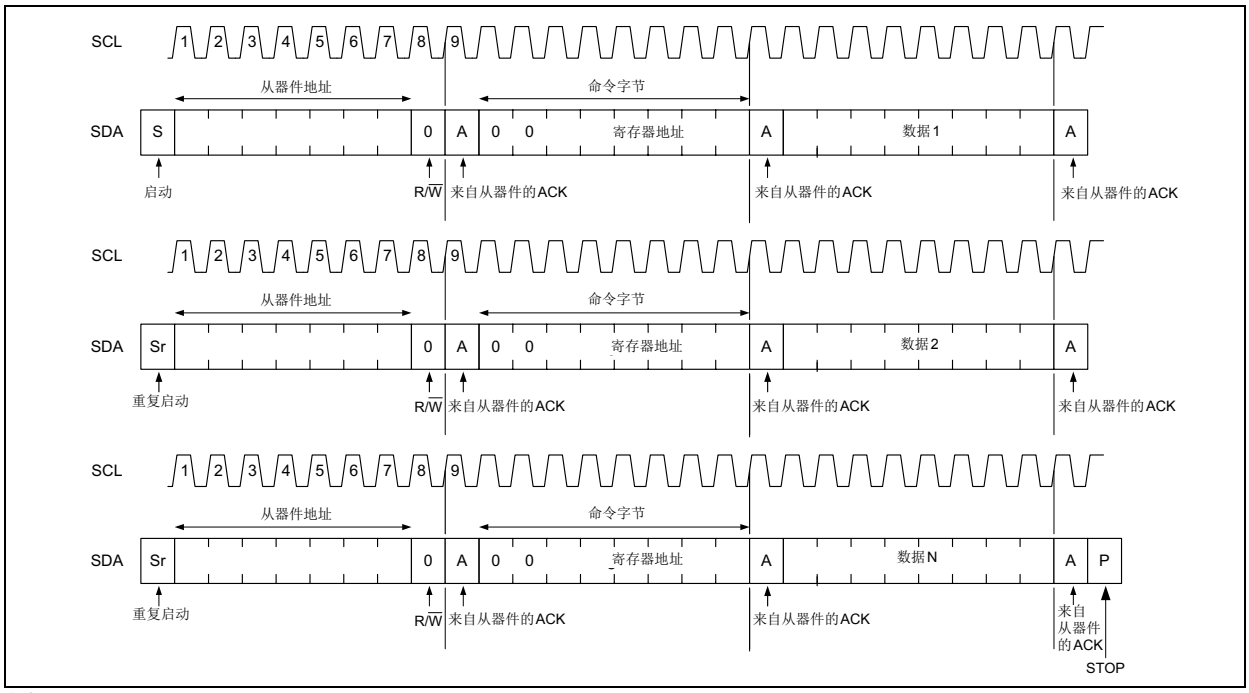


***图8-4：** 具有重复启动命令的单次写操作时序图*

注： 如果写入的寄存器单元不存在，MIC24045将在命令字节之后生成拒绝操作（NACK）。

8.5.3 单次读操作

该操作从器件中指定的寄存器读取单个字节。寄存器通过命令字节指定。

读命令如下所述，并在下面的时序图图8-5中进行了说明。

1. 发送启动序列
2. 发送7位从地址
3. 发送R/W位（0）以指示写操作
4. 等待从器件的应答
5. 发送需要读取的寄存器地址
6. 等待从器件的应答
7. 再次发送启动序列（重复启动条件）
8. 发送7位从地址
9. 发送R/W位（1）以指示读操作
10. 等待从器件的应答
11. 从MSb开始从从器件接收8位数据
12. 主器件作出应答。接收到字节后，主接收器发出NACK（而非ACK）以通知数据传输结束。
13. 发送停止序列

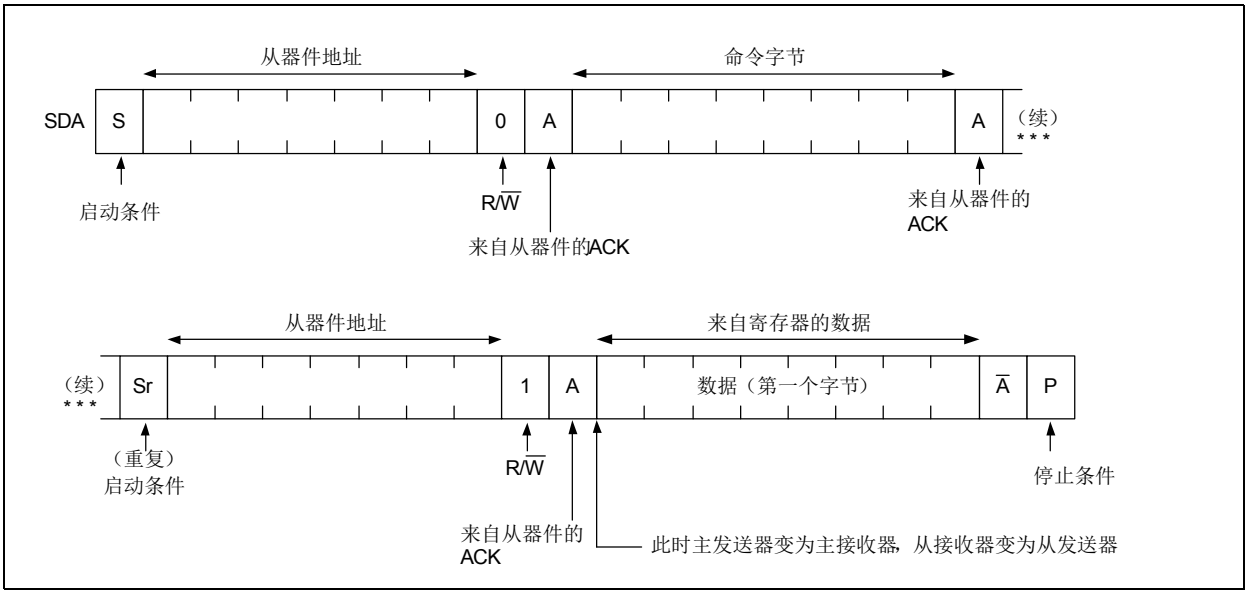


***图8-5：** 单次读操作时序图*

注：	如果尝试读取的寄存器单元不存在，MIC24045将在命令字节之后生成拒绝操作（NACK）。

© 2019 Microchip Technology Inc.

8.5.4 块读取（自动递增模式）

此命令从由命令字节指定的寄存器开始读取字节块。命令字节的Bit<6>表示自动递增模式。如果该位置1，则地址自动递增1，并从命令字节提供的地址开始按顺序读取寄存器。

块/自动递增读命令如下所述，并在时序图图8-6中进行了说明。

1. 发送启动序列
2. 发送7位从地址
3. 发送R/W位（0）以指示写操作
4. 等待从器件的应答
5. 发送命令字节（需要读取的地址，其中Bit<6>置为高电平以指示自动递增读取模式）。
6. 等待从器件的应答
7. 再次发送启动序列
8. 发送7位从地址
9. 发送R/W位（1）以指示读操作
10. 等待从器件的应答
11. 从MSb开始从步骤5中指示的从寄存器接收8位数据
12. 主接收器作出应答。接收到最后一个字节后，主接收器发出NACK（而非ACK）以通知数据传输结束。
13. 重复执行步骤11和12，直到最后一个字节
14. 发送停止序列

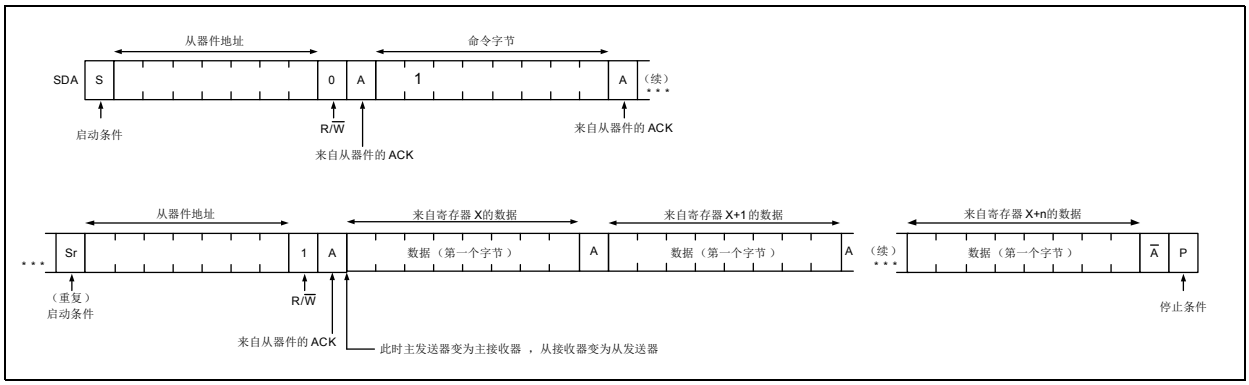


***图8-6：** 块读取时序图*

注： 如果主器件在命令字节中使用的寄存器单元不存在，则MIC24045将生成拒绝操作（NACK）。

在块读取自动递增模式中，主接收器必须在从器件随时钟输出最后一个字节时不产生应答，以此向发送器发送数据结束信号。这种情况下，发送器必须将数据线保留为高电平，以使主器件产生停止条件。

如果主器件持续在有效的用户可访问寄存器单元之外的地址执行读操作，则内部测试寄存器的内容将连续读出，直到到达地址15（Fh）。之后，读操作会折回并从寄存器地址0h重新开始，直到主器件停止读操作。

8.5.5 块写入（自动递增模式）

该命令将数据写入指定的寄存器以及由命令字节指定的所有后续寄存器。命令字节的Bit<6>表示自动递增模式。如果该位置1，则地址自动递增1，并从命令字节提供的地址开始按顺序写入寄存器。

块/自动递增写命令如下所述，并在下面的时序图图8-7中进行了说明。

1. 发送启动序列
2. 发送7位从地址
3. 发送R/W位（0）以指示写操作
4. 等待从器件的应答
5. 发送命令字节（需要写入的地址，其中Bit<6>置为高电平以指示自动递增写入模式）。
6. 等待从器件的应答。
7. 从主器件接收8位数据，然后从MSb开始将其写入步骤5中指示的从寄存器。
8. 从器件作出应答
9. 重复执行步骤7和8，直到整个数据完成发送
10. 发送停止序列

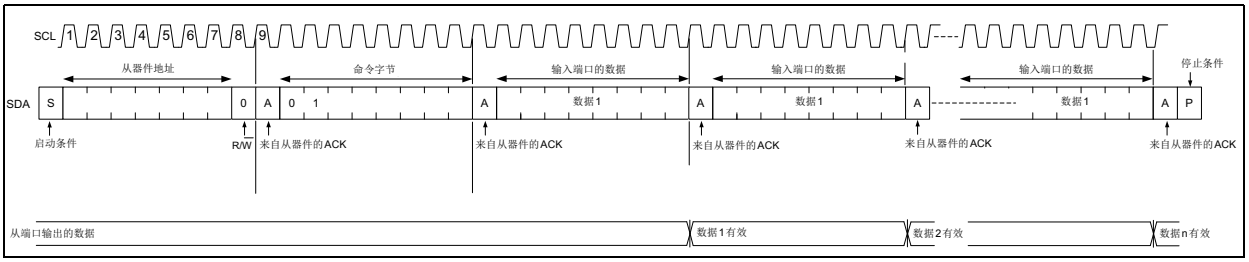


***图8-7：** 块写入时序图*

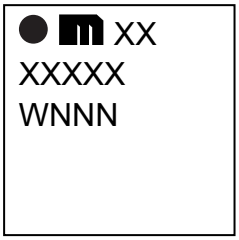
注：	如果主器件使用的寄存器单元不存在，则将生成拒绝操作（NACK）。

© 2019 Microchip Technology Inc.

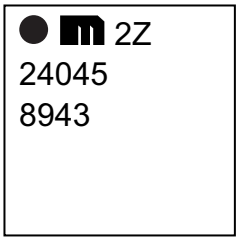
9.0 封装信息

9.1 封装标识信息

20引脚FQFN*



示例



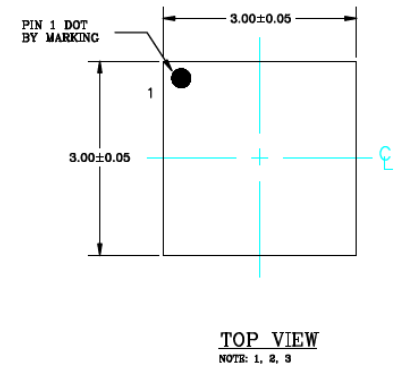
图注：	XX...X	产品代码或客户指定信息
	Y	年份代码（日历年的最后一位数字）
	YY	年份代码（日历年的最后两位数字）
	W或WW	星期代码（一月一日的星期代码为“01”）
	NNN	由字母数字组成的追踪代码
	(e3)	雾锡（Matte Tin，Sn）的JEDEC®无铅标志
	*	表示无铅封装。JEDEC无铅标志（(e3)）标示于此种封装的外包装上。
	●、▲和▼	引脚1的索引由圆点、上三角或下三角（三角形标记）标识。
注：	Microchip 部件编号如果无法在同一行内完整标注，将换行标出，因此会限制表示客户指定信息的字符数。包装可能包含也可能不包含公司徽标。 下划线（_）和/或上划线（¯）符号可能未按比例缩放。	

20引脚FQFN 3 mm x 3 mm封装外形和推荐焊盘布局

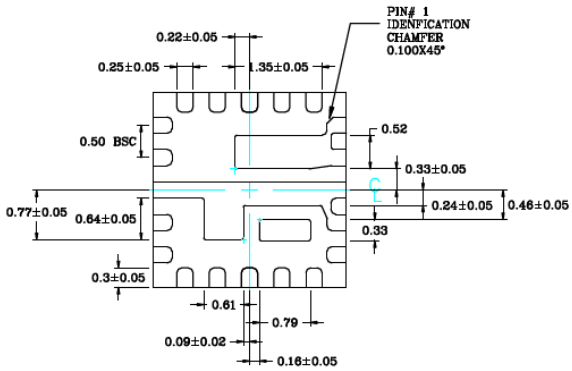
TITLE

20 LEAD FQFN 3x3mm PACKAGE (Flip Chip) OUTLINE & RECOMMENDED LAND PATTERN

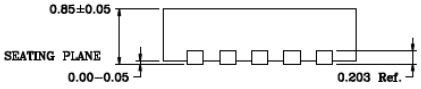
DRAWING #	FQFN33-20LD-PL-1	UNIT	MM
Lead Frame	Cu	Lead Finish	Matte Tin



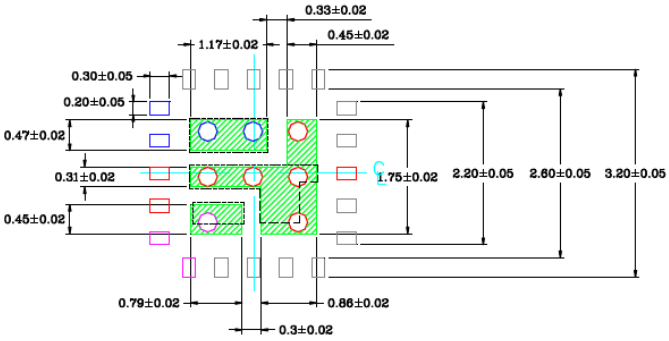
TOP VIEW
NOTE: 1, 2, 3



BOTTOM VIEW
NOTE: 1, 2, 3



SIDE VIEW
NOTE: 1, 2, 3



RECOMMENDED LAND PATTERN
NOTE: 4, 5, 6, 7

NOTE:
1. MAX PACKAGE WARPAGE IS 0.05mm.
2. MAX ALLOWABLE BURR IS 0.076mm IN ALL DIRECTIONS.
3. PIN #1 (TOP) IS LASER MARKED.
4. RED CIRCLES IN LAND PATTERN REPRESENTS THERMAL VIA AND SHOULD BE CONNECTED TO GROUND FOR MAXIMUM PERFORMANCE.
5. GREEN RECTANGLES (SHADED AREA) ARE RECOMMENDED SOLDER STENCIL OPENNING ON EXPOSED PAD AREA.
6. BLUE COLOR AND PURPLE COLOR PADS REPRESENT DIFFERENT POTENTIALS. DO NOT CONNECT TO GROUND.
7. VIA SIZE is 0.30mm DIAMETER and 0.70mm PITCH.

注：最新封装图请至http://www.microchip.com/packaging查看Microchip封装规范。

© 2019 Microchip Technology Inc.

附录A： 版本历史

版本A（2016年5月）

- 本文档的初始版本。

版本B（2018年10月）

- 封装：已更新器件标识图注；添加了注释

产品标识体系

欲订货或获取价格、交货等信息，请与我公司生产厂或各销售办事处联系。

部件编号	-XX	X	XX	-XX
器件	默认设置	引脚加工	封装代码	介质类型

器件：	MIC24045：	支持I²C编程的高效率、宽输入范围、5A同步降压稳压器	
默认设置：	XX	=	默认设置的器件代码（见表6-1）
引脚加工：	Y	=	无铅，工业级温度
封装：	FL	=	倒装芯片QFN，厚度为0.85 mm
介质类型：	<空白>	=	100片/管
	TR	=	5000片/卷盘

示例：

a) MIC240452ZYFL-TR：	I²C可编程、高效率、宽输入范围、5A同步降压稳压器，2Z默认设置，工业级温度范围，20引脚FQFN，5000片/卷盘
b) MIC24045EIYFL：	I²C可编程、高效率、宽输入范围、5A同步降压稳压器，EI默认设置，工业级温度范围，20引脚FQFN，100片/管
c) MIC24045KDYFL-TR：	I²C可编程、高效率、宽输入范围、5A同步降压稳压器，KD默认设置，工业级温度范围，20引脚FQFN，5000片/卷盘

注 1： 卷带式标识符仅出现在产品目录的部件编号描述中。该标识符用于订货目的，不会印刷在器件封装上。关于包装是否提供卷带式选项的信息，请咨询当地的Microchip销售办事处。

© 2019 Microchip Technology Inc.

请注意以下有关 Microchip 器件代码保护功能的要点：

- Microchip 的产品均达到 Microchip 数据手册中所述的技术指标。
- Microchip 确信：在正常使用的情况下， Microchip 系列产品是当今市场上同类产品中最安全的产品之一。
- 目前，仍存在着恶意、甚至是非法破坏代码保护功能的行为。就我们所知，所有这些行为都不是以 Microchip 数据手册中规定的操作规范来使用 Microchip 产品的。这样做的人极可能侵犯了知识产权。
- Microchip 愿与那些注重代码完整性的客户合作。
- Microchip 或任何其他半导体厂商均无法保证其代码的安全性。代码保护并不意味着我们保证产品是 “牢不可破”的。

代码保护功能处于持续发展中。Microchip 承诺将不断改进产品的代码保护功能。任何试图破坏 Microchip 代码保护功能的行为均可视为违反了 《数字器件千年版权法案 （Digital Millennium Copyright Act）》。如果这种行为导致他人在未经授权的情况下，能访问您的软件或其他受版权保护的成果，您有权依据该法案提起诉讼，从而制止这种行为。

提供本文档的中文版本仅为了便于理解。请勿忽视文档中包含的英文部分，因为其中提供了有关 Microchip 产品性能和使用情况的有用信息。Microchip Technology Inc. 及其分公司和相关公司、各级主管与员工及事务代理机构对译文中可能存在的任何差错不承担任何责任。建议参考 Microchip Technology Inc. 的英文原版文档。

本出版物中所述的器件应用信息及其他类似内容仅为您提供便利，它们可能由更新之信息所替代。确保应用符合技术规范，是您自身应负的责任。**Microchip 对这些信息不作任何明示或暗示、书面或口头、法定或其他形式的声明或担保，包括但不限于针对其使用情况、质量、性能、适销性或特定用途的适用性的声明或担保。** Microchip 对因这些信息及使用这些信息而引起的后果不承担任何责任。如果将 Microchip 器件用于生命维持和 / 或生命安全应用，一切风险由买方自负。买方同意在由此引发任何一切伤害、索赔、诉讼或费用时，会维护和保障 Microchip 免于承担法律责任，并加以赔偿。除非另外声明，在 Microchip 知识产权保护下，不得暗中或以其他方式转让任何许可证。

Microchip 位于美国亚利桑那州 Chandler 和 Tempe 与位于俄勒冈州 Gresham的全球总部、设计和晶圆生产厂及位于美国加利福尼亚州和印度的设计中心均通过了 ISO/TS-16949:2009 认证。Microchip 的 PIC® MCU 与 dsPIC® DSC、KEELOQ® 跳码器件、串行 EEPROM、单片机外设、非易失性存储器和模拟产品严格遵守公司的质量体系流程。此外，Microchip 在开发系统的设计和生产方面的质量体系也已通过了 ISO 9001:2000 认证。

QUALITY MANAGEMENT SYSTEM
CERTIFIED BY DNV
═ ISO/TS 16949═

商标

Microchip 的名称和徽标组合、 Microchip 徽标、 AnyRate、AVR、AVR 徽标、AVR Freaks、BitCloud、chipKIT、chipKIT 徽标、 CryptoMemory、 CryptoRF、 dsPIC、 FlashFlex、flexPWR、 Heldo、 JukeBlox、 KeeLoq、 Kleer、 LANCheck、LINK MD、 maXStylus、 maXTouch、 MediaLB、 megaAVR、MOST、MOST 徽标、MPLAB、OptoLyzer、PIC、picoPower、PICSTART、 PIC32 徽标、 Prochip Designer、 QTouch、 SAM-BA、SpyNIC、SST、SST 徽标、SuperFlash、tinyAVR、UNI/O 及 XMEGA 均为 Microchip Technology Inc. 在美国和其他国家或地区的注册商标。

ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、Hyper Speed Control、HyperLight Load、IntelliMOS、mTouch、Precision Edge 和 Quiet-Wire 均为 Microchip Technology Inc. 在美国的注册商标。

Adjacent Key Suppression、 AKS、 Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、 AnyIn、 AnyOut、 BodyCom、 CodeGuard、CryptoAuthentication、 CryptoAutomotive、 CryptoCompanion、CryptoController、 dsPICDEM、 dsPICDEM.net、 Dynamic Average Matching、 DAM、 ECAN、 EtherGREEN、 In-Circuit Serial Programming、 ICSP、 INICnet、 Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、 KleerNet、 KleerNet 徽标、 memBrain、 Mindi、MiWi、 motorBench、 MPASM、 MPF、 MPLAB Certified 徽标、MPLIB、 MPLINK、 MultiTRAK、 NetDetach、 Omniscient Code Generation、 PICDEM、 PICDEM.net、 PICkit、 PICtail、PowerSmart、 PureSilicon、 QMatrix、 REAL ICE、 Ripple Blocker、 SAM-ICE、 Serial Quad I/O、 SMART-I.S.、 SQI、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Total Endurance、TSHARC、USBCheck、VariSense、ViewSpan、WiperLock、Wireless DNA 和 ZENA 均为 Microchip Technology Inc. 在美国和其他国家或地区的商标。

SQTP 为 Microchip Technology Inc. 在美国的服务标记。

Silicon Storage Technology 为 Microchip Technology Inc. 在除美国外的国家或地区的注册商标。

GestIC 为 Microchip Technology Inc. 的子公司 Microchip Technology Germany II GmbH & Co. & KG 在除美国外的国家或地区的注册商标。

在此提及的所有其他商标均为各持有公司所有。

© 2019, Microchip Technology Inc. 版权所有。

ISBN：978-1-5224-4052-9

全球销售及服务网点

美洲

公司总部 Corporate Office
2355 West Chandler Blvd.
Chandler, AZ 85224-6199
Tel: 1-480-792-7200
Fax: 1-480-792-7277
技术支持：
http://www.microchip.com/support
网址：www.microchip.com

亚特兰大 Atlanta
Duluth, GA
Tel: 1-678-957-9614
Fax: 1-678-957-1455

奥斯汀 Austin, TX
Tel: 1-512-257-3370

波士顿 Boston
Westborough, MA
Tel: 1-774-760-0087
Fax: 1-774-760-0088

芝加哥 Chicago
Itasca, IL
Tel: 1-630-285-0071
Fax: 1-630-285-0075

达拉斯 Dallas
Addison, TX
Tel: 1-972-818-7423
Fax: 1-972-818-2924

底特律 Detroit
Novi, MI
Tel: 1-248-848-4000

休斯敦 Houston, TX
Tel: 1-281-894-5983

印第安纳波利斯 Indianapolis
Noblesville, IN
Tel: 1-317-773-8323
Fax: 1-317-773-5453
Tel: 1-317-536-2380

洛杉矶 Los Angeles
Mission Viejo, CA
Tel: 1-949-462-9523
Fax: 1-949-462-9608
Tel: 1-951-273-7800

罗利 Raleigh, NC
Tel: 1-919-844-7510

纽约 New York, NY
Tel: 1-631-435-6000

圣何塞 San Jose, CA
Tel: 1-408-735-9110
Tel: 1-408-436-4270

加拿大多伦多 Toronto
Tel: 1-905-695-1980
Fax: 1-905-695-2078

亚太地区

中国 - 北京
Tel: 86-10-8569-7000

中国 - 成都
Tel: 86-28-8665-5511

中国 - 重庆
Tel: 86-23-8980-9588

中国 - 东莞
Tel: 86-769-8702-9880

中国 - 广州
Tel: 86-20-8755-8029

中国 - 杭州
Tel: 86-571-8792-8115

中国 - 南京
Tel: 86-25-8473-2460

中国 - 青岛
Tel: 86-532-8502-7355

中国 - 上海
Tel: 86-21-3326-8000

中国 - 沈阳
Tel: 86-24-2334-2829

中国 - 深圳
Tel: 86-755-8864-2200

中国 - 苏州
Tel: 86-186-6233-1526

中国 - 武汉
Tel: 86-27-5980-5300

中国 - 西安
Tel: 86-29-8833-7252

中国 - 厦门
Tel: 86-592-238-8138

中国 - 香港特别行政区
Tel: 852-2943-5100

中国 - 珠海
Tel: 86-756-321-0040

台湾地区 - 高雄
Tel: 886-7-213-7830

台湾地区 - 台北
Tel: 886-2-2508-8600

台湾地区 - 新竹
Tel: 886-3-577-8366

亚太地区

澳大利亚 Australia - Sydney
Tel: 61-2-9868-6733

印度 India - Bangalore
Tel: 91-80-3090-4444

印度 India - New Delhi
Tel: 91-11-4160-8631

印度 India - Pune
Tel: 91-20-4121-0141

日本 Japan - Osaka
Tel: 81-6-6152-7160

日本 Japan - Tokyo
Tel: 81-3-6880-3770

韩国 Korea - Daegu
Tel: 82-53-744-4301

韩国 Korea - Seoul
Tel: 82-2-554-7200

马来西亚 Malaysia - Kuala Lumpur
Tel: 60-3-7651-7906

马来西亚 Malaysia - Penang
Tel: 60-4-227-8870

菲律宾 Philippines - Manila
Tel: 63-2-634-9065

新加坡 Singapore
Tel: 65-6334-8870

泰国 Thailand - Bangkok
Tel: 66-2-694-1351

越南 Vietnam - Ho Chi Minh
Tel: 84-28-5448-2100

欧洲

奥地利 Austria - Wels
Tel: 43-7242-2244-39
Fax: 43-7242-2244-393

丹麦 Denmark - Copenhagen
Tel: 45-4450-2828
Fax: 45-4485-2829

芬兰 Finland - Espoo
Tel: 358-9-4520-820

法国 France - Paris
Tel: 33-1-69-53-63-20
Fax: 33-1-69-30-90-79

德国 Germany - Garching
Tel: 49-8931-9700

德国 Germany - Haan
Tel: 49-2129-3766400

德国 Germany - Heilbronn
Tel: 49-7131-67-3636

德国 Germany - Karlsruhe
Tel: 49-721-625370

德国 Germany - Munich
Tel: 49-89-627-144-0
Fax: 49-89-627-144-44

德国 Germany - Rosenheim
Tel: 49-8031-354-560

以色列 Israel - Ra'anana
Tel: 972-9-744-7705

意大利 Italy - Milan
Tel: 39-0331-742611
Fax: 39-0331-466781

意大利 Italy - Padova
Tel: 39-049-7625286

荷兰 Netherlands - Drunen
Tel: 31-416-690399
Fax: 31-416-690340

挪威 Norway - Trondheim
Tel: 47-7288-4388

波兰 Poland - Warsaw
Tel: 48-22-3325737

罗马尼亚 Romania - Bucharest
Tel: 40-21-407-87-50

西班牙 Spain - Madrid
Tel: 34-91-708-08-90
Fax: 34-91-708-08-91

瑞典 Sweden - Gothenberg
Tel: 46-31-704-60-40

瑞典 Sweden - Stockholm
Tel: 46-8-5090-4654

英国 UK - Wokingham
Tel: 44-118-921-5800
Fax: 44-118-921-5820

© 2019 Microchip Technology Inc.