MCP16501

适用于SAMA5DX/SAM9X6/SAMA7G系列MPU的低成本、小尺寸PMIC

特性

- 输入电压：2.7V至5.5V
- 三个 1A 输出电流降压通道，最大占空比均可达到100%
- 2 MHz降压通道PWM操作
- 一个辅助300 mA低压差（Low-Dropout，LDO）线性稳压器
- DDR（Buck2输出）和内核（Buck3输出）的电压精度均为±1%
- 可通过引脚选择Buck2的输出电压：1.2V、1.35V和1.8V；Buck3的输出电压：1.0V、1.15V和1.25V
- 针对MPU的内置默认通道序列和nRSTO有效延时
- 支持MPU休眠和低功耗模式
- 支持低噪声强制PWM（Forced PWM，FPWM）模式和低I_Q轻载高效模式
- 强化ESD保护，可在任何工作条件下与MPU进行无泄漏连接
- 低功耗模式下的典型静态电流为250 µA（降压通道和LDO开启，无负载）
- 6 µA最大关断电流（V_{IN} = 4.5V，T_J = +105°C）
- 单独的LDO EN输入，与LV逻辑兼容
- 降低BOM成本，减少电路板空间
- 热关断和电流限制保护
- 24引脚4 mm × 4 mm VQFN封装
- -40°C至+125°C的结温范围

应用

- 高性能MPU电源解决方案
- µC/µP、FPGA和DSP电源

说明

MCP16501是一款成本和尺寸经过优化的集成PMIC，可兼容Microchip的EMPU（嵌入式微处理器单元）和相关DRAM存储器。它兼容受专用器件型号支持的SAMA5DX、SAM9X6和SAMA7G等MPU。

MCP16501集成了三个直流/直流降压稳压器和一个辅助LDO，并为MPU提供了全面的接口。

所有降压通道均支持最高1A的负载，并且占空比均可达到100%。

300 mA LDO用于支持敏感的模拟负载。

可通过两个三态输入引脚来选择DDR存储器电压（Buck2输出）和MPU内核电压（Buck3输出）。这种方法可消除外部反馈电阻引入的误差，同时最大程度地减少外部元件数量，从而提高输出电压设置精度。电压选择功能还能方便用户在不同代的存储器之间进行迁移。

该器件可根据MPU的要求内置默认的电源通道序列。通过专用引脚（LPM）可轻松切换到低功耗模式，还能实现带DDR自刷新功能的备用模式（休眠模式）。

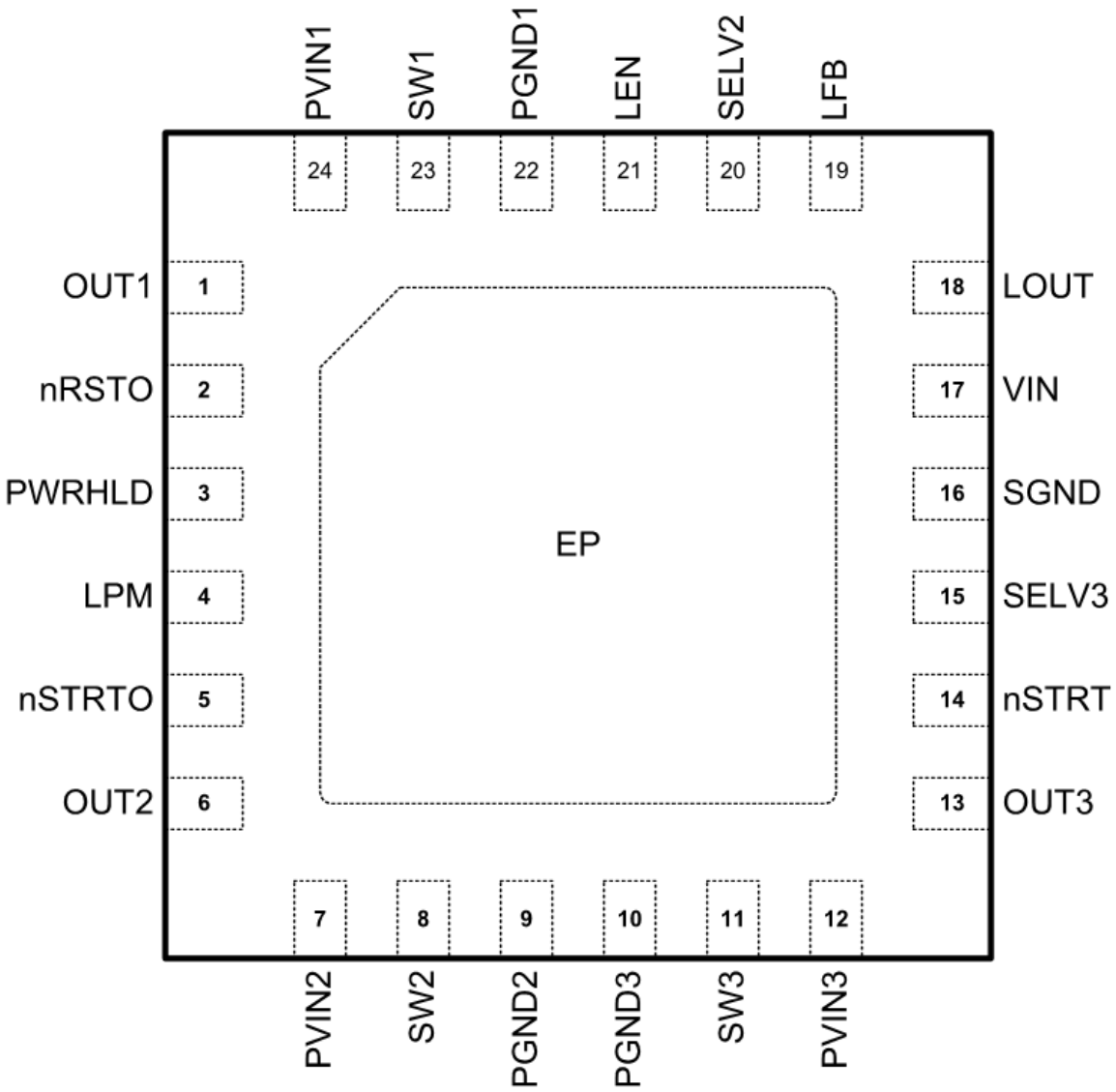
MCP16501具有较低的空载工作静态电流，在完全关断状态下消耗的电流不到6 µA（V_{IN} = 4.5V，T_J = +105°C）。

每个输出均配备主动放电电阻。所有降压通道均支持安全启动进入预偏置输出。

MCP16501采用24引脚4 mm x 4 mm VQFN封装，工作结温范围为-40°C至+125°C。

© 2021 Microchip Technology Inc.

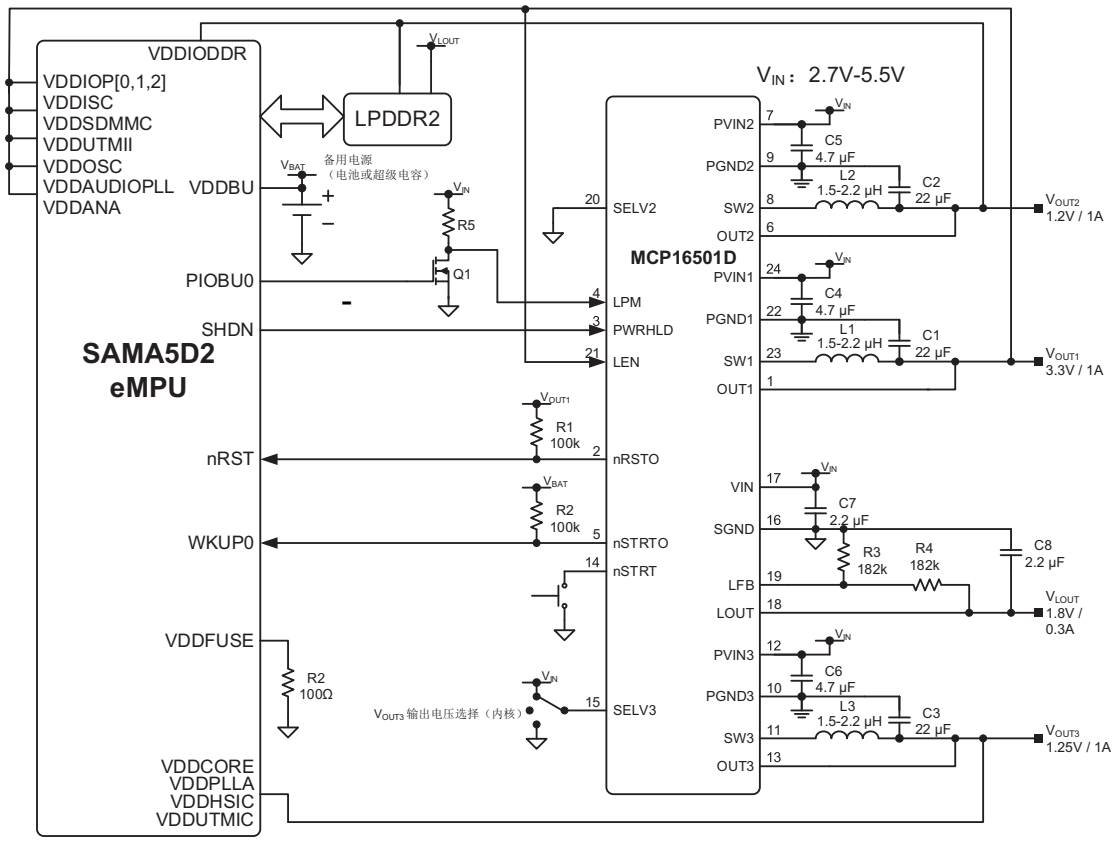
封装类型



24 引脚 4 mm x 4 mm VQFN——俯视图

© 2021 Microchip Technology Inc.

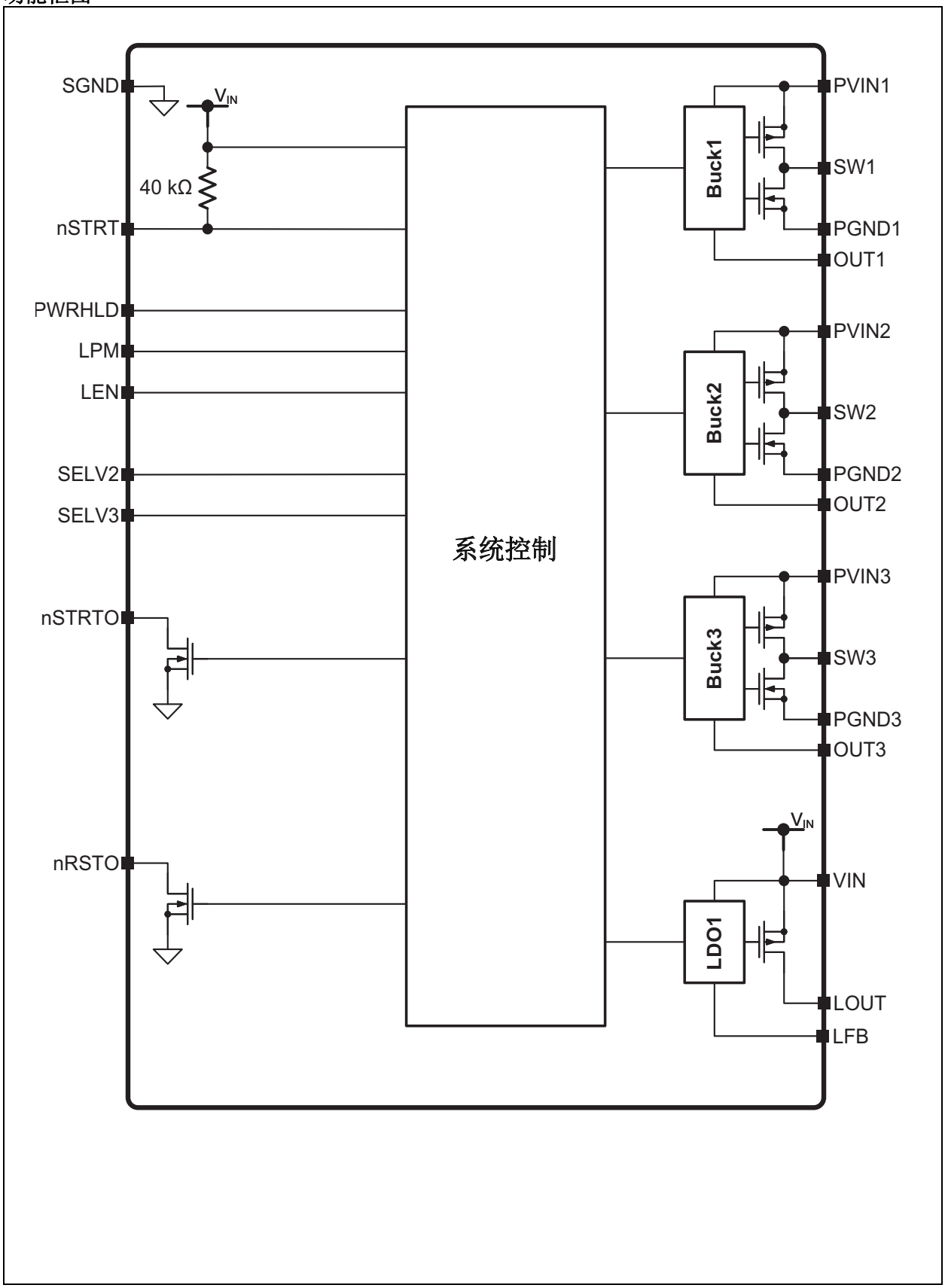
典型应用电路



有关引脚信息，请参见表3-1。

MCP16501D 与 SAMA5D2 和 LPDDR2 搭配使用的应用原理图

功能框图



© 2021 Microchip Technology Inc.

1.0 电气特性

绝对最大值†

VIN相对于SGND的电压 ..... -0.3V至+6V
电源电压引脚PVINx相对于PGNDx的电压 ..... -0.3V至+6V
电源电压引脚PVINx相对于VIN的电压 ..... -0.3V至+0.3V
LOUT引脚相对于GND的电压 ..... -0.3V至V_{VIN} + 0.3V
LFB检测引脚相对于SGND的电压 ..... -0.3V至V_{VIN} + 0.3V
OUTx检测引脚相对于SGND的电压 ..... -0.3V至+6V
输出开关引脚SWx相对于PGNDx的电压 ..... -0.3V至V_{PVINx} + 0.3V
PGNDx相对于SGND的电压 ..... -0.3V至+0.3V
nSTRT、SELV2和SELV3相对于SGND的电压 ..... -0.3V至V_{VIN} + 0.3V
LPM、LEN、PWRHLD、nRSTO和nSTRTO相对于SGND的电压 ..... -0.3V至+6V
最高结温 ..... 150°C
储存温度 ..... -65°C至+150°C
所有引脚上的ESD保护：
HBM ..... 2 kV
MM 100V
CDM 750V

† **注：**如果器件工作条件超过上述“绝对最大值”，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。

交流/直流特性

电气规范：除非另外说明，否则$T_A = T_J$ = +25°C；V_{IN} = VIN = PVINx = 5V；L1 = L2 = L3 = 2.2 µH；C_{OUT1}、C_{OUT2}和C_{OUT3} = 22 µF。**粗体字**适用的结温T_J为-40°C至+125°C。

参数	符号	最小值	典型值	最大值	单位	条件
系统输入电源						
电源电压范围	V_{IN}	**2.7**	—	**5.5**	V	
欠压锁定阈值	V_{UVLO_TH}	**2.4**	2.55	**2.7**	V	导通
欠压锁定滞后	V_{UVLO_HYS}	—	125	—	mV	
关断（关闭）电流	I_{SHDN}	—	7	**10**	µA	PWRHLD = LPM = 0，nSTRT、nRSTO和nSTRTO悬空，V_{IN} = 5.5V
	I_{SHDN_105}(1)	—	4.5	6	µA	PWRHLD = LPM = 0，nSTRT、nRSTO和nSTRTO悬空，V_{IN} = 4.5V，T_J = -40°C至+105°C
休眠模式 非开关状态静态电流	I_{QNS_HIB1}	—	110	**150**	µA	I_{OUT2} = 0 mA，Buck2开启，所有其他通道均关闭，$V_{OUT2} > V_{OUT2_NOM}$，LPM = 1，PWRHLD = 0
休眠模式非开关状态静态电流 仅限MCP16501D	I_{QNS_HIB2}	—	150	**190**	µA	I_{OUT2} = 0 mA，Buck2开启，LDO开启，所有其他通道均关闭，$V_{OUT2} > V_{OUT2_NOM}$，$V_{LFB} > V_{LFB_NOM}$，LPM = 1，PWRHLD = 0

注 1： T_J的最大限值 = -40°C至+105°C（基于表征数据）。
2： 未经生产测试。
3： 典型值通过基准特性表征确定，最大值经过生产测试。

交流/直流特性（续）

电气规范：除非另外说明，否则$T_A = T_J = +25°C$；V_{IN} = VIN = PVINx = 5V；L1 = L2 = L3 = 2.2 µH；C_{OUT1}、C_{OUT2}和C_{OUT3} = 22 µF。**粗体字**适用的结温T_J为-40°C至+125°C。

参数	符号	最小值	典型值	最大值	单位	条件
休眠模式工作静态电流（开关状态，一个降压通道开启）（注2）	I_{QOP_HIB1}	—	110	—	µA	I_{OUT2} = 0 mA，Buck2开启（V_{OUT2} = 1.2V），所有其他通道均关闭，LPM = 1，PWRHLD = 0
休眠模式工作静态电流（开关状态，一个降压通道开启，LDO通道开启）（注2）	I_{QOP_HIB2}	—	150	—	µA	I_{OUT2} = I_{LDO} = 0 mA，Buck2和LDO开启（V_{OUT2} = 1.2V，V_{LDO} = 1.8V），所有其他通道均关闭，LPM = 1，PWRHLD = 0
低功耗模式工作静态电流（开关状态）（注2）	I_{QOP_LPM}	—	205	—	µA	I_{OUTx} = 0 mA，除LDO以外的所有通道均开启，默认设置，PWRHLD = LPM = 1
低功耗模式工作静态电流（开关状态）（注2）	I_{QOP_LPM2}	—	250	—	µA	I_{OUTx} = 0 mA，包括LDO在内的所有通道均开启，默认设置，PWRHLD = LPM = 1
工作模式工作静态电流（开关状态）（注2）	I_{QOP_ACT}	—	14	—	mA	I_{OUTx} = 0 mA，包括LDO在内的所有通道均使能，默认设置，PWRHLD = 1，LPM = 0 SELV2 = 低电平，SELV3 = 高电平
热保护						
过热关断阈值（注2）	T_{TSD}	—	160	—	°C	
过热关断滞后（注2）	T_{TSD_HYS}	—	20	—	°C	
Buck1						
输入工作电压范围	V_{PVIN1}	**2.7**	—	**5.5**	V	
PVIN1关断电流	I_{PVIN1_SHDN}	—	0.05	**2**	µA	稳压器禁止，V_{PVIN1} = 5V
输出电压精度，FPWM	ACC_OUT_{PWM1}	**-2**	—	**+2**	%	I_{OUT1} = 0 mA
输出电压精度，自动PFM	ACC_OUT_{PFM1}	**-2**	—	**+2**	%	I_{OUT1} = 0 mA，HCM关闭
输出电压的电压稳定度（注2）	$LINE_REG_{PWM1}$	—	0.03	—	%	I_{OUT1} = 0 mA，FPWM，V_{IN} = PVIN1 = VIN = 3.6V至5.5V
	$LINE_REG_{PFM1}$	—	0.07	—		I_{OUT1} = 0 mA，自动PFM，V_{IN} = PVIN1 = VIN = 3.6V至5.5V
输出电压的负载稳定度（注2）	$LOAD_REG_{PWM1}$	—	0.3	—	%	I_{OUT1} = 0A至1A，FPWM
	$LOAD_REG_{PFM1}$	—	0.5	—	%	I_{OUT1} = 0A至1A，自动PFM
滞后控制模式上限稳压阈值，自动PFM（仅限MCP16501E）	HCM_TH	**1.7**	2.9	**4.3**	%	I_{OUT1} = 0 mA，PWRHLD = LPM = 1，VIN = PVIN1 = 1.06 x V_{OUT1_NOM}，OUT1上升，V_{OUT1_NOM}的百分比
滞后控制模式禁止阈值，自动PFM（仅限MCP16501E）	HCM_DIS	—	11.1	—	%	I_{OUT1} = 0 mA，PWRHLD = LPM = 1，VIN = PVIN1上升，V_{OUT1_NOM}的百分比

注 1： T_J的最大限值 = -40°C至+105°C（基于表征数据）。
2： 未经生产测试。
3： 典型值通过基准特性表征确定，最大值经过生产测试。

© 2021 Microchip Technology Inc.

交流/直流特性（续）

电气规范：除非另外说明，否则$T_A = T_J = +25°C$；V_{IN} = VIN = PVINx = 5V；L1 = L2 = L3 = 2.2 µH；C_{OUT1}、C_{OUT2}和C_{OUT3} = 22 µF。**粗体字**适用的结温T_J为-40°C至+125°C。

参数	符号	最小值	典型值	最大值	单位	条件
滞后控制模式使能阈值，自动PFM（仅限MCP16501E）	HCM_EN	**5**	9	**13**	%	I_{OUT1} = 0 mA， PWRHLD = LPM = 1， VIN = PVIN1下降， V_{OUT1_NOM}的百分比
开关频率	f_{sw}	**1.8**	2	**2.2**	MHz	FPWM
最大占空比	D_{MAX}	100	—	—	%	功能测试
最短导通时间	T_{ON_MIN1}	—	35	—	ns	FPWM
上桥臂开关导通电阻	R_{DSonP1}	—	140	160	mΩ	PVIN1 = VIN = 3.6V
下桥臂开关导通电阻	R_{DSonN1}	—	120	140	mΩ	PVIN1 = VIN = 3.6V
启动POK旁路阈值	$V_{POKB_TH_B1}$	**360**	400	**440**	mV	PVIN1 – OUT1，OUT1上升， PVIN1 = 3.0V，V_{OUT1_NOM} = 3.3V
启动POK旁路阈值滞后	$V_{POKB_HYS_B1}$	—	50	—	mV	OUT1下降，PVIN1 = 3.0V
软启动速率	SSR	—	3.125	—	V/ms	
上桥臂峰值电流限值（逐周期）	I_{LIM_HS1}	**1.2**	1.8	**2.4**	A	
电流限制频率折返V_{OUT1}阈值	V_{TH_FFB1}	—	500	—	mV	
打嗝模式短路保护等待时间	t_{HICCUP}	—	3倍软启动时间	—		
下桥臂负峰值电流限值（FPWM）	I_{LIM_NEG1}	-1.4	-1	-0.8	A	
零电流检测阈值	I_{ZCD1}	0	50	110	mA	
主动放电电阻	R_{DISCH_OUT1}	—	25	—	Ω	稳压器禁止时使能DISCH
Buck2和Buck3						
输入工作电压范围	V_{PVINx}	**2.7**	—	**5.5**	V	
PVINx关断电流	I_{PVINx_SHDN}	—	0.05	**2**	µA	稳压器禁止，PVINx = 5V
输出电压精度，FPWM	ACC_OUT_{PWMx}	**-1**	—	**+1**	%	I_{OUTx} = 0 mA，0.9V ≤ V_{OUTx} ≤ 1.3V
		-1.5	—	**+1.5**		I_{OUTx} = 0 mA，V_{OUTx} < 0.9V或 V_{OUTx} > 1.3V
输出电压精度，自动PFM	ACC_OUT_{PFMx}	**-1**	—	**+1**	%	I_{OUTx} = 0 mA，0.9V ≤ V_{OUTx} ≤ 1.3V
		-1.5	—	**+1.5**		I_{OUTx} = 0 mA，V_{OUTx} < 0.9V或 V_{OUTx} > 1.3V
输出电压的电压稳定度（注2）	$LINE_REG_{PWMx}$	—	0.03	—	%	I_{OUT1} = 0 mA，FPWM， V_{IN} = PVIN1 = VIN = 3.6V至5.5V
	$LINE_REG_{PFMx}$	—	0.07	—		I_{OUT1} = 0 mA，自动PFM， V_{IN} = PVIN1 = VIN = 3.6V至5.5V
输出电压的负载稳定度（注2）	$LOAD_REG_{PWMx}$	—	0.3	—	%	I_{OUTx} = 0A至1A，FPWM
	$LOAD_REG_{PFMx}$	—	0.5	—		I_{OUTx} = 0A至1A，自动PFM
开关频率	f_{sw}	**1.8**	2	**2.2**	MHz	FPWM

注 1： T_J的最大限值 = -40°C至+105°C（基于表征数据）。
2： 未经生产测试。
3： 典型值通过基准特性表征确定，最大值经过生产测试。

交流/直流特性（续）

电气规范：除非另外说明，否则$T_A = T_J = +25°C$；$V_{IN} = VIN = PVINx = 5V$；L1 = L2 = L3 = 2.2 µH；$C_{OUT1}$、$C_{OUT2}$和$C_{OUT3}$ = 22 µF。**粗体字**适用的结温T_J为-40°C至+125°C。

参数	符号	最小值	典型值	最大值	单位	条件
最大占空比	D_{MAX}	100	—	—	%	功能测试
最短导通时间	T_{ON_MINx}	—	35	—	ns	FPWM
上桥臂开关导通电阻	R_{DSonPx}	—	140	160	mΩ	PVINx = VIN = 3.6V
下桥臂开关导通电阻	R_{DSonNx}	—	120	140	mΩ	PVINx = VIN = 3.6V
软启动速率	SSR	—	3.125	—	V/ms	
上桥臂峰值电流限值（逐周期）	I_{LIM_HSx}	**1.2**	1.8	**2.4**	A	
电流限制频率折返V_{OUTx}阈值	V_{TH_FFBx}	—	500	—	mV	
打嗝模式短路保护等待时间	t_{HICCUP}	—	3倍软启动时间	—		
下桥臂负峰值电流限值（FPWM）	I_{LIM_NEGx}	-1.4	-1	-0.8	A	
零电流检测阈值	I_{ZCDx}	0	33	110	mA	
主动放电电阻	R_{DISCH_OUTx}	—	25	—	Ω	稳压器禁止时使能DISCH
LDO						
输入工作电压范围	V_{LVIN}	**2.7**	—	**5.5**	V	
输出电压范围	V_{LOUT}	0.9	—	3.7	V	建议的应用设置。
稳定输出电容范围（注2）	C_{LOUT}	2.2	—	20	µF	I_{LOUT} ≤ 150 mA——应用要求
		4.7	—	20	µF	I_{LOUT} ≤ 300 mA——应用要求
工作静态电流	I_{VIN_Q}	—	110	—	µA	I_{LOUT} = 0 mA；仅LDO开启；降压通道关闭
LDO工作静态电流	$I_{VIN_Q_LDO}$	—	45	—	µA	I_{LOUT} = 0 mA；包括LDO在内的所有通道均开启，开启LDO时出现ΔVIN电流
反馈电压	ACC_LFB	**0.8865**	0.9	**0.9135**	V	VIN = 3.6V
压差（注3）	V_{DO}	—	170	**500**	mV	I_{LOUT} = 300 mA
输出电压的电压稳定度	LINE_REG	—	0.024	—	%	VIN = 3.6V至5.5V，I_{LOUT} = 0.1 mA
输出电压的负载稳定度	LOAD_REG	—	0.3	—	%	I_{LOUT} = 0.1 mA至300 mA
PSRR（注2）	PSRR	—	63	—	dB	f = 1 kHz，I_{OUT} = 20 mA，V_{LOUT} = 1.8V，VIN已调制
		—	46	—	dB	f = 10 kHz，I_{OUT} = 20 mA，V_{LOUT} = 1.8V，VIN已调制
软启动速率	SSR_LFB	—	3.125	—	V/ms	在LFB上测得

注 1： T_J的最大限值 = -40°C至+105°C（基于表征数据）。
2： 未经生产测试。
3： 典型值通过基准特性表征确定，最大值经过生产测试。

© 2021 Microchip Technology Inc.

交流/直流特性（续）

电气规范：除非另外说明，否则$T_A = T_J = +25°C$；V_{IN} = VIN = PVINx = 5V；L1 = L2 = L3 = 2.2 µH；C_{OUT1}、C_{OUT2}和C_{OUT3} = 22 µF。**粗体字**适用的结温T_J为-40°C至+125°C。						
参数	符号	最小值	典型值	最大值	单位	条件
电流限制	I_{LIM_LOUT}	**310**	420	**550**	mA	VIN = 4.5V， V_{LOUT} = 标称值的80%
主动放电电阻	R_{DISCH_LOUT}	—	25	—	Ω	稳压器禁止时使能DISCH
LEN输入						
LEN逻辑高电平输入电压V_{IH}	V_{IH_LEN}	**1.15**	—	—	V	
LEN逻辑低电平输入电压V_{IL}	V_{IL_LEN}	—	—	**0.4**	V	
LEN输入泄漏电流	I_{LK_LENT}	**-1**	—	**1**	µA	
nSTRT输入						
逻辑高电平输入电压V_{IH}	V_{IH_nSTRT}	**0.66 V_{VIN}**	—	—	V	VIN = 3.6V-5.5V
逻辑低电平输入电压V_{IL}	V_{IL_nSTRT}	—	—	**0.36 V_{VIN}**	V	VIN = 3.6V-5.5V
上拉电阻	R_{PU_nSTRT}	—	40	—	kΩ	
nSTRT抗毛刺时间	t_{DT_nSTRT}	—	10	—	µs	nSTRT引脚的下降沿
SELV2和SELV3三态输入（x = 2和3）						
高电平状态阈值电压V_{IHT}	V_{IHT_SELVx}	**V_{VIN} – 0.9V**	—	**V_{VIN} – 0.4V**	V	
低电平状态阈值电压V_{ILT}	V_{ILT_SELVx}	**0.5**	—	**1.0**	V	
高电平输入泄漏电流	I_{lkgH_SELVx}	—	0.7	**1**	µA	SELVx = VIN – 0.4V
低电平输入泄漏电流	I_{lkgL_SELVx}	**-1**	0.7	—	µA	SELVx = 0.4V
PWRHLD和LPM逻辑输入（x = PWRHLD和LPM）						
逻辑高电平输入电压V_{IH}	V_{IH_x}	**1.5**	—	—	V	VIN = 3.6V-5.5V
逻辑低电平输入电压V_{IL}	V_{IL_x}	—	—	**0.4**	V	VIN = 3.6V-5.5V
输入泄漏电流	I_{lkg_x}	**-1**	—	**1**	µA	
抗毛刺时间	t_{DT_x}	—	10	—	µs	
nRSTO和nSTRTO逻辑输出（x = nRSTO和nSTRTO）						
低电平输出电压V_{OL}	V_{OL_x}	—	—	**0.4**	V	VIN = 3.6V-5.5V，I_{OL} = 2 mA
泄漏电流	I_{lkg_x}	—	—	**1**	µA	施加5.5V电压，关闭输出驱动器

注 1： T_J的最大限值 = -40°C至+105°C（基于表征数据）。
2： 未经生产测试。
3： 典型值通过基准特性表征确定，最大值经过生产测试。

温度规范(1)

参数	符号	最小值	典型值	最大值	单位	条件
温度范围						
工作结温范围	T_J	-40	—	+125	°C	稳态
最高结温	T_{J_MAX}	—	—	+150	°C	瞬态
封装热阻	θ_{JA}	—	38	—	°C/W	

注 1： 除非另外说明，否则$T_A = +25°C$；V_{IN} = PVINx = 5V。
粗体值表示-40°C ≤ T_J ≤ +125°C。

2.0 典型性能曲线

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。一些图表中列出的数据可能超出规定的工作范围（例如，超出了规定的电源范围），因此不在担保范围内。

注：除非另外说明，否则V_{IN} = VIN= PVINx = 5V；L1 = L2 = L3 = 2.2 µH；C_{OUT1} = C_{OUT2} = C_{OUT3}= 22 µF，T_A = +25°C

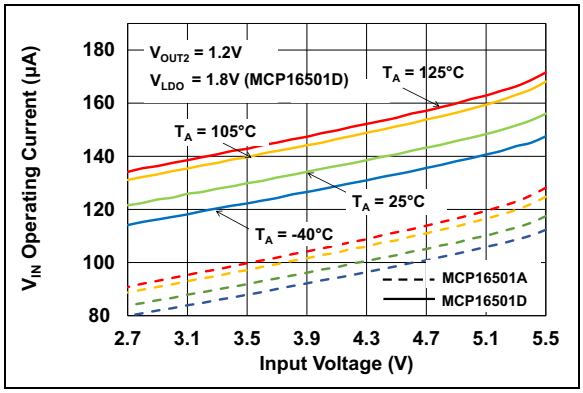


图2-1：　休眠模式下的V_{IN}工作电流—输入电压和温度曲线（LPM = 高电平，PWRHLD = 低电平）

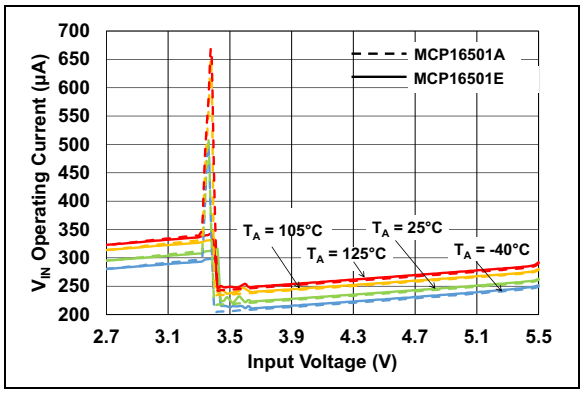


图2-2：　低功耗模式下的V_{IN}静态电流—输入电压和温度曲线（LPM = PWRHLD = 高电平）

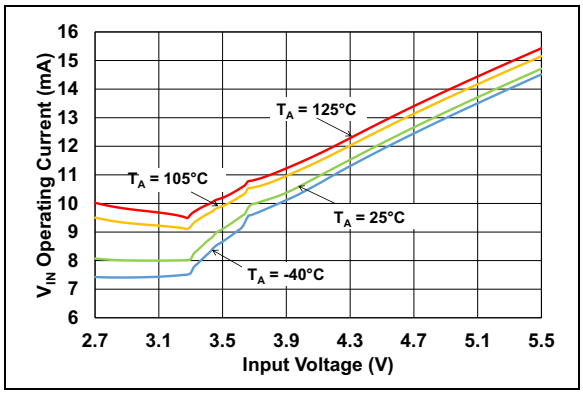


图2-3：　工作模式下的V_{IN}静态电流—输入电压和温度曲线（LPM = 低电平，PWRHLD = 高电平）

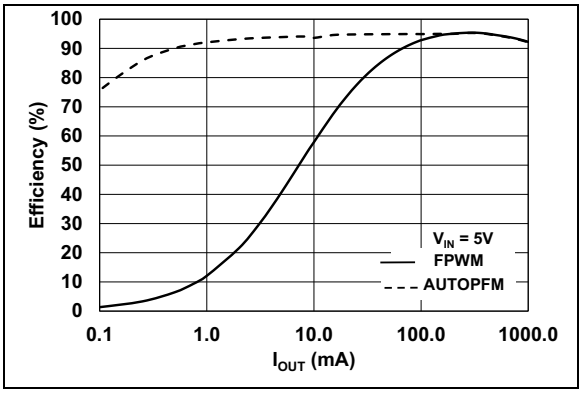


图2-4：　Buck1 效率—PVIN1 上所测负载电流曲线（V_{OUT1} = 3.3V）

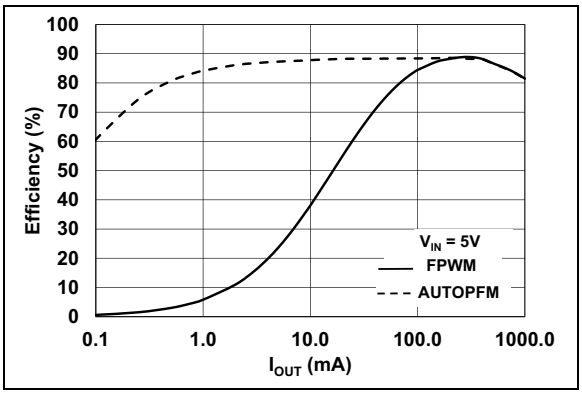


图2-5：　Buck2 效率—PVIN2 上所测负载电流曲线（V_{OUT2} = 1.2V）

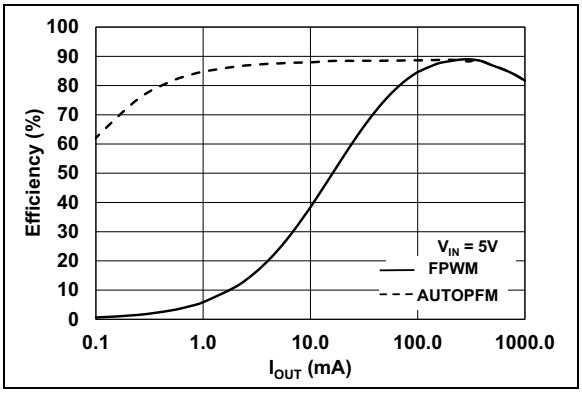


图2-6：　Buck3 效率—PVIN3 上所测负载电流曲线（V_{OUT3} = 1.25V）

© 2021 Microchip Technology Inc.

注：除非另外说明，否则 V_{IN} = VIN= PVINx = 5V；L1 = L2 = L3 = 2.2 µH；C_{OUT1} = C_{OUT2} = C_{OUT3} = 22 µF，T_A = +25°C

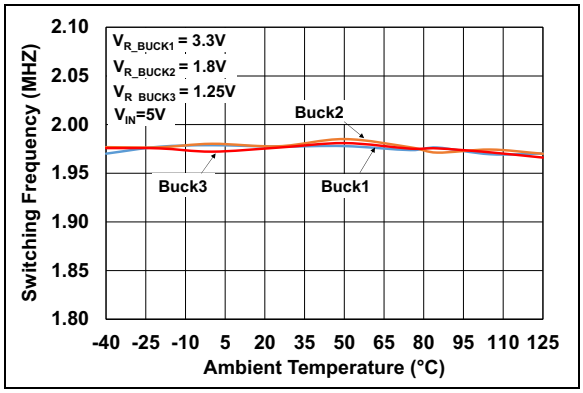


图2-7：　工作模式下的开关频率—温度曲线（LPM = 低电平，PWRHLD = 高电平）

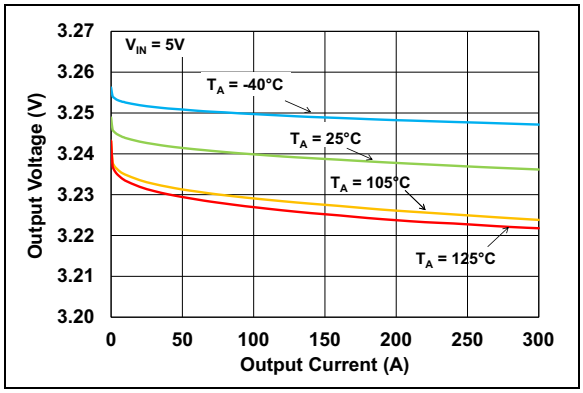


图2-10：　LDO 输出电压—输出电流和温度曲线（负载稳定度——V_{LOUT} = 3.3V）

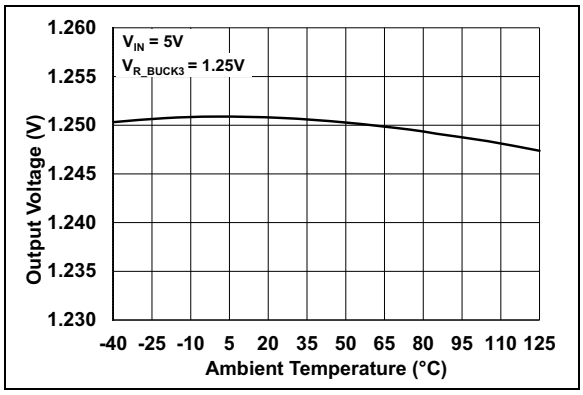


图2-8：　工作模式下的Buck3输出电压—温度曲线（V_{OUT3} = 1.25V，LPM = 低电平，PWRHLD = 高电平）

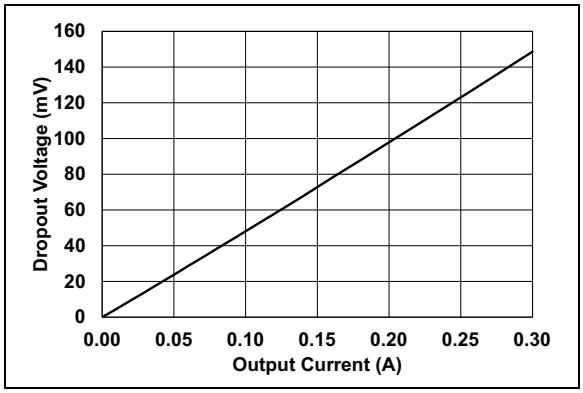


图2-11：　LDO 压差—负载电流曲线

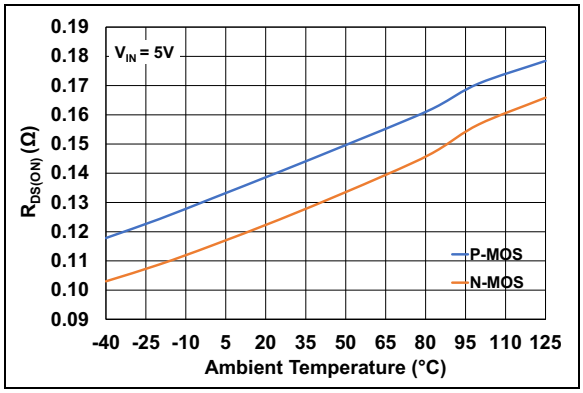


图2-9：　MOSFET $R_{DS(ON)}$—温度曲线

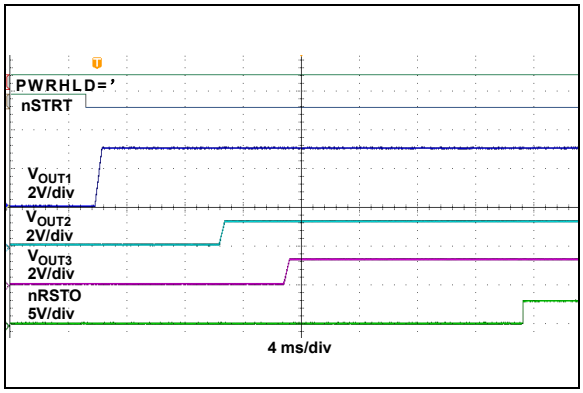


图2-12：　nSTRT 启动序列

注：除非另外说明，否则 V_{IN} = VIN = PVINx = 5V； L1 = L2 = L3 = 2.2 µH； C_{OUT1} = C_{OUT2} = C_{OUT3} = 22 µF，T_A = +25°C

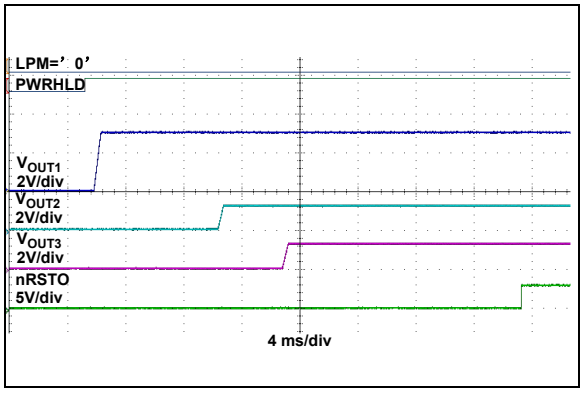


图2-13： PWRHLD 启动序列

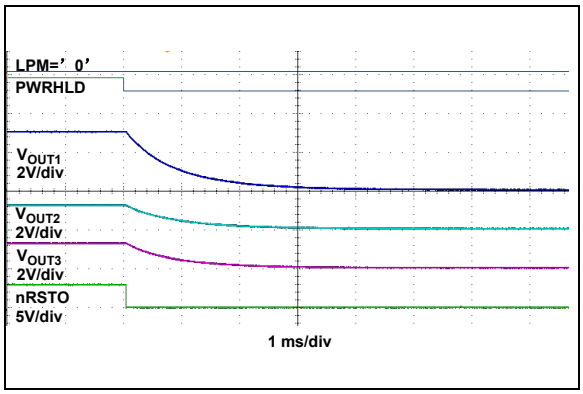


图2-14： PWRHLD 关断序列

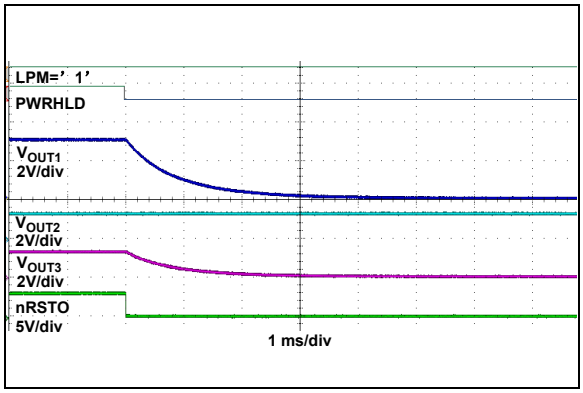


图2-15： 进入休眠模式

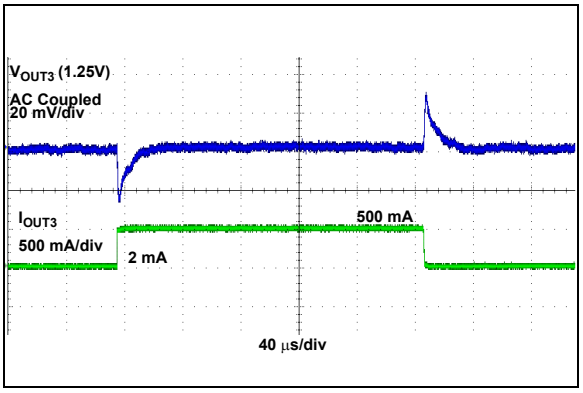


图2-16： Buck3 瞬态响应（工作模式，V_{OUT3} = 1.25V）

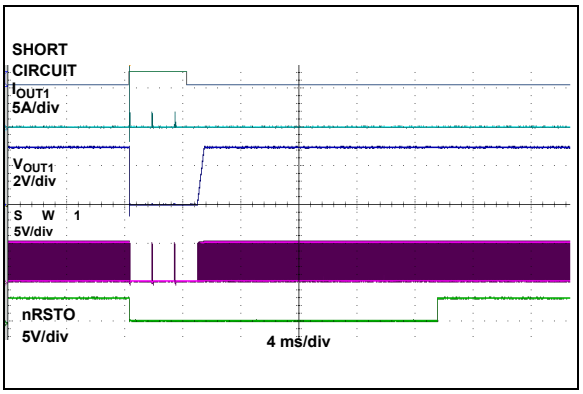


图2-17： V_{OUT1} 输出短路

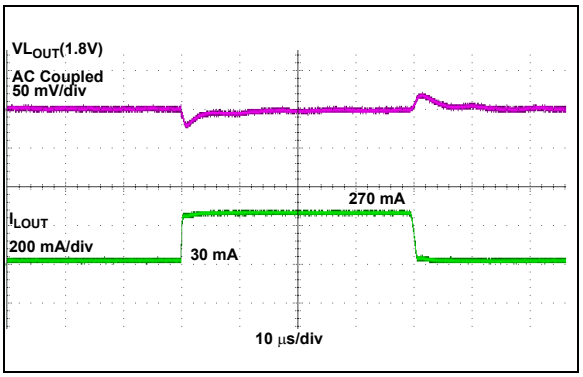


图2-18： LDO 负载瞬态响应

© 2021 Microchip Technology Inc.

注：除非另外说明，否则 V_{IN} = VIN= PVINx = 5V； L1 = L2 = L3 = 2.2 µH； C_{OUT1} = C_{OUT2} = C_{OUT3} = 22 µF，T_A = +25°C

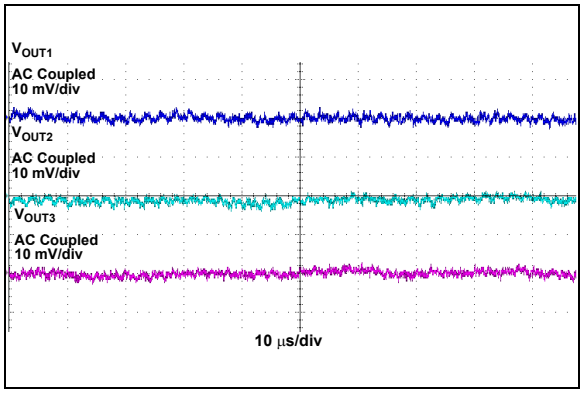


图2-19： 工作（FPWM）模式下的降压通道输出电压纹波

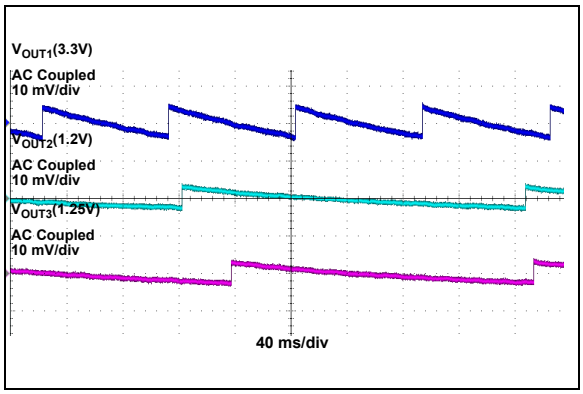


图2-20： 低功耗（自动 PFM）模式下的降压通道输出电压纹波

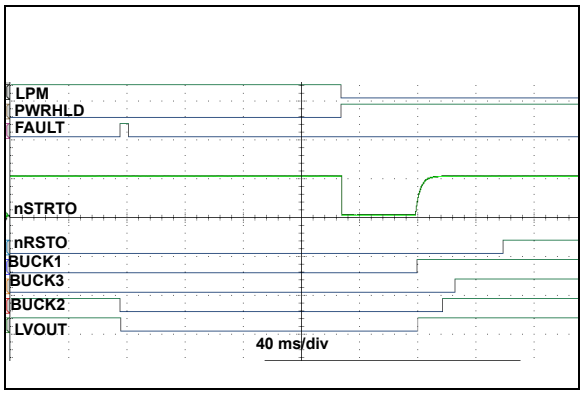


图2-21： 休眠模式下工作通道出现故障时 MCP16501D 的自动唤醒脉冲

3.0 引脚说明

表3-1列出了引脚说明。

表3-1： 引脚功能表

引脚编号	引脚名称	说明
1	OUT1	降压通道1的输出检测。连接到V_{OUT1}的稳压点。
2	nRSTO	低电平有效的漏极开路复位输出。
3	PWRHLD	电源保持输入。在nSTRT触发初始启动后，通常由MPU置为高电平以保持供电。随后由MPU置为低电平以启动PMIC关断序列。
4	LPM	低功耗模式输入引脚。该引脚与PWRHLD一起定义MCP16501的电源模式状态。
5	nSTRTO	低电平有效的漏极开路启动事件输出。每当nSTRT为低电平时，nSTRTO便置为低电平。
6	OUT2	降压通道2的输出检测。连接到V_{OUT2}的稳压点。
7	PVIN2	降压通道2的电源输入电压。在PVIN2和PGND2引脚之间连接一个陶瓷电容，以形成局部脉冲电流回路并消除开关噪声。
8	SW2	降压通道2的开关节点。内部功率MOSFET开关和外部电感连接。
9	PGND2	降压通道2的电源地。
10	PGND3	降压通道3的电源地。
11	SW3	降压通道3的开关节点。内部功率MOSFET开关和外部电感连接。
12	PVIN3	降压通道3的电源输入电压。在PVIN3和PGND3引脚之间连接一个陶瓷电容，以形成局部脉冲电流回路并消除开关噪声。
13	OUT3	降压通道3的输出检测。连接到V_{OUT3}的稳压点。
14	nSTRT	启动事件输入。将nSTRT驱动为低电平以启动启动序列。nSTRT在内部上拉。可以将电容连接到nSTRT，以在主电源上升时自动启动上电序列。
15	SELV3	降压通道3输出电压选择引脚。三态输入。
16	SGND	信号地。连接到参考地平面。
17	VIN	LDO和模拟控制电路的输入电压。通过2.2 µF（最小值）陶瓷电容将VIN与SGND去耦。
18	LOUT	LDO输出。通过2.2 µF（最小值）陶瓷电容将LOUT与地去耦。
19	LFB	LDO FB引脚。将外部电阻分压器连接到LOUT以调节输出电压。
20	SELV2	降压通道2输出电压选择引脚。三态输入。
21	LEN	LDO使能输入。
22	PGND1	降压通道1的电源地。
23	SW1	降压通道1的开关节点。内部功率MOSFET开关和外部电感连接。
24	PVIN1	降压通道1的电源输入电压。在PVIN1和PGND1引脚之间连接一个陶瓷电容，以形成局部脉冲电流回路并消除开关噪声。
-	EP	外露焊盘。通过过孔连接到地平面，以确保良好的散热性能。

© 2021 Microchip Technology Inc.

4.0 器件型号

MCP16501提供了多种型号，分别拥有不同的目标I/O电压、外部存储器类型和旁路行为。目前提供以下型号（可参见表4-1）：

> **注：** 所有器件型号在出厂时即带有可一次性编程存储器，该存储器用于配置上电时的默认设置。如果您在开发定制器件型号方面需要更多的帮助，请联系离您最近的Microchip销售办事处。

表4-1： 默认配置

器件型号	MCP16501A	MCP16501B	MCP16501C	MCP16501D	MCP16501E
V_{OUT1}	3.3V	2.8V	3V	3.3V	3.3V
LPDDR2/3	不支持	不支持	不支持	支持	不支持
滞后控制模式（Hysteretic Control Mode，HCM）	不支持	不支持	不支持	不支持	支持

4.1 降压通道和相关外部元件

MCP16501降压通道基于峰值电流模式控制架构，并具有用于稳压回路的内部频率补偿。斜率补偿针对1.5 µH至2.2 µH范围的电感进行了优化。为了保持稳定性，至少需要22 µF的输出电容。如有必要，可以增加输出电容；但是，应限制最大输出电容值，以避免在初始软启动斜坡期间引发打嗝模式过流保护。更多详细信息，请参见**第5.5节“软启动期间可承受的最大容性和直流负载”**。

每个降压通道的建议输入去耦电容为4.7 µF。

降压通道可以在强制PWM模式（连续电感电流模式）下运行，在该模式下，允许电感电流为负值；也可以在自动PFM模式下运行，在该模式下，通过零电流检测（Zero-Current Detection，ZCD）和下桥臂MOSFET的二极管仿真，可防止电感电流变为负值。

强制PWM模式下的开关频率标称值为2 MHz。

4.2 LDO通道和相关外部元件

根据MCP16501 LDO的设计，在使用2.2 µF（最小值）的低ESR陶瓷输出电容的情况下最高支持150 mA的负载电流，在使用4.7 µF（最小值）的低ESR陶瓷输出电容的情况下最高支持300 mA的负载电流。总输出电容不应超过20 µF。**第5.1节“推荐的外部元件”**给出了建议的电容器件编号。

4.3 控制信号和电源状态

4.3.1 连接信号

MCP16501通过以下信号连接主机MPU：nSTRTO（漏极开路输出）、nRSTO（漏极开路输出）、PWRHLD（输入）和LPM（输入）。每个接口信号上的ESD保护均已经过专门设计，即使断开MCP16501的主输入电源，也可以防止MPU I/O泄漏。

4.3.2 nSTRT、nSTRTO和PWRHLD功能

nSTRT（按钮输入）用作PMIC + MPU系统的外部唤醒输入。nSTRT在内部上拉至VIN并受到监视。当nSTRT被拉为/检测到为低电平（例如，通过按钮或任何其他下拉器件）的时间比最短去抖时间还要长时，MCP16501将开始启动序列。

每当检测到nSTRT为低电平时，nSTRTO信号就置为低电平，其他情况下为高阻态（nSTRTO通常有一个外部上拉电阻）。这一输入（nSTRT）/输出（nSTRTO）关系的惟一例外是所谓的自动唤醒脉冲（Automatic Wake-up Pulse，AWKP），**第4.4.6节“故障和自动唤醒脉冲（AWKP）产生后的重启序列——仅限MCP16501D”**对此进行了介绍（仅适用于MCP16501D）。

启动序列开始后，MCP16501需要通过MPU将PWRHLD信号（电源保持）置为有效，以验证启动过程。在使用备用电源的典型应用中，PWRHLD可能已置为高电平。如果在启动序列完成之前（也就是当nRSTO即将置为高电平时），MPU未将PWRHLD置为高电平，则MCP16501将自动启动关闭序列。

在运行期间（PWRHLD = 高电平），可以再次将nSTRT（以及nSTRTO）置为低电平。在这种情况下，MCP16501不执行任何自动操作。

4.3.3 nSTRT/PWRHLD典型用例

根据备用电源是否存在以及nSTRT（“按钮”）所连外部唤醒信号是否可用，MCP16501的开启可分为四种不同的情况，具体如图4-1所述。

© 2021 Microchip Technology Inc.

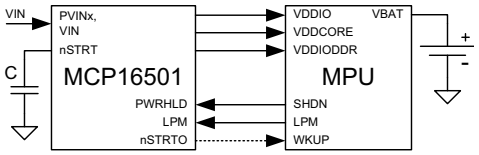
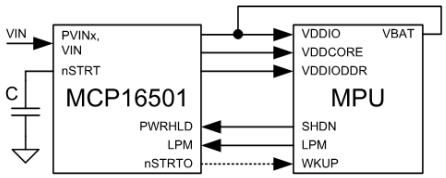
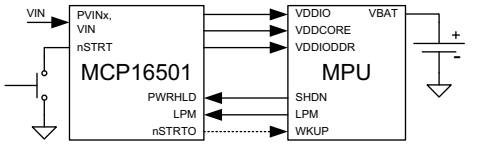
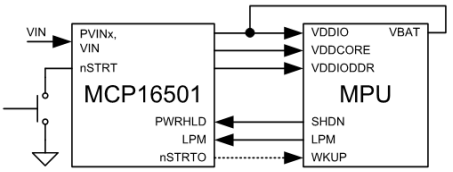
	具有备用电源的应用	没有备用电源的应用
没有启动按钮的应用		
	当V_{IN}由于电容C而上升时，应用启动，该电容会使nSTRT的上升延迟到V_{IN}之后，并导致nSTRT在MCP16501上电后立即变为低电平。 请注意，在将电池安装到PCB上时（即制造阶段），PWRHLD（= MPU的SHDN）设置为1。 可通过MPU将SHDN设置为0来关闭MCP16501的电源通道。MPU随后将处于备用模式。 如果支持，还可以通过在SHDN = 0之前将LPM设置为1来将DDR置于备用自刷新（Backup Self-Refresh，BSR）模式。 要将应用从备用模式唤醒，必须为MPU的SHDWC（关断和唤醒控制器）生成唤醒事件。该唤醒事件既可以是内部事件（例如，RTC、RTT报警和TAMPER检测），也可以是SHDWC的I/O上的事件（例如，来自无线模块的唤醒事件）。MPU 随后会将SHDN 设置为 1，PWRHLD 从低电平跳变为高电平将导致MCP16501重启。 当MPU处于备用模式（SHDN = 0）时，如果V_{IN}掉电再上电，MCP16501将自动重启，并会在发生nSTRTO（WKUP）事件后向MPU发送唤醒事件。 如果未在MPU SHDWC配置中使能此唤醒事件，则由于未将PWRHLD设置为高电平，SHDN将保持低电平，并且MCP16501将在启动序列结束时关闭。如果使能了此唤醒事件，SHDN将立即变为高电平，从而确认MCP16501的启动序列，应用将重启。	当V_{IN}由于电容C而上升时，应用启动，该电容会使nSTRT的上升延迟到V_{IN}之后，并导致nSTRT在MCP16501上电后立即变为低电平。 当VBAT（= VDDIO）高于其内部POR阈值（约1.5V）后，PWRHLD（= MPU的SHDN）立即设置为1。 可通过MPU将SHDN设置为0来关闭MCP16501的电源通道。在这种情况下，MPU并非处于备用模式，而是完全关闭。既无法使用LPM，也无法将SHDN设置为1，因为SHDWC控制器的电源电压缺失。在关闭状态下，只能通过使V_{IN}掉电再上电来重启应用。
具有启动按钮（nSTRT）的应用		
	当V_{IN}上升时，应用不会立即启动。 必须按下按钮（nSTRT = 低电平）才能启动MCP16501。 请注意，在将电池安装到PCB上时（即制造阶段），PWRHLD（= MPU的SHDN）设置为1。 可通过MPU将SHDN设置为0来关闭MCP16501的电源通道。MPU随后将处于备用模式。 如果支持，还可以通过在SHDN = 0之前将LPM设置为1来将DDR置于备用自刷新（BSR）模式。 要将应用从备用模式唤醒，必须为MPU的SHDWC（关断和唤醒控制器）生成唤醒事件。该唤醒事件既可以是内部事件（例如，RTC、RTT报警和TAMPER检测），也可以是SHDWC的I/O上的事件（例如，来自无线模块的唤醒事件）。MPU 随后会将SHDN 设置为 1，PWRHLD 从低电平跳变为高电平将导致MCP16501重启。 当MPU处于备用模式（SHDN = 0）时，如果V_{IN}掉电再上电，MCP16501不会自动重启。 要重启应用，必须按下按钮，并使能nSTRTO（WKUP）作为唤醒事件。 在BSR模式下，将由软件来管理由于输入断电而导致DDR丢失的数据（即重新加载DDR的内容）。	当V_{IN}上升时，应用不会立即启动。必须按下按钮才能启动MCP16501。 当VBAT（= VDDIO）高于其内部POR阈值（约1.5V）后，PWRHLD（= MPU的SHDN）立即设置为1。 可通过MPU将SHDN设置为0来关闭MCP16501的电源通道。在这种情况下，MPU并非处于备用模式，而是完全关闭。既无法使用LPM，也无法将SHDN设置为1，因为SHDWC控制器的电源电压缺失。 要重启应用，必须按下按钮。

图4-1： *各种MPU配置的启动机制说明*

4.3.4 PWRHLD、LPM、LEN和电源状态定义

PWRHLD和LPM共同定义了多种不同的电源状态，如表4-2所示。这些是MCP16501A的默认定义。对于其他或定制的产品型号，也可以使用其他默认定义。

LDO操作完全独立于电源状态，由LEN引脚控制。惟一的例外是MCP16501D用于LPDDR2应用的情况，其中LDO与Buck2一起为存储器供电。有关更多详细信息，请参见**第5.3节“休眠模式下的LPDDR2支持（仅限MCP16501D）”**。

表4-2： 默认电源状态定义（MCP16501A）

PWRHLD	LPM	Buck1	Buck2	Buck3	LDO	nRSTO	电源状态
0	0	关闭	关闭	关闭	LEN控制	低电平	关闭
0	1	关闭	开启 自动PFM	关闭	LEN控制	低电平	休眠模式
1	1	开启 自动PFM	开启 自动PFM	开启 自动PFM	LEN控制	高阻态	低功耗模式
1	0	开启 FPWM	开启 FPWM	开启 FPWM	LEN控制	高阻态	工作模式

禁止PWRHLD和LPM的其他逻辑组合。初始状态为关闭状态（关断）。

MCP16501退出关闭状态而进入其他可能的电源状态的过程被定义为上电序列，**第4.4.1节“典型上电序列和时序”**对此进行了介绍。图4-2中的状态图给出了MCP16501的电源状态及其典型的和/或允许的动态转换。

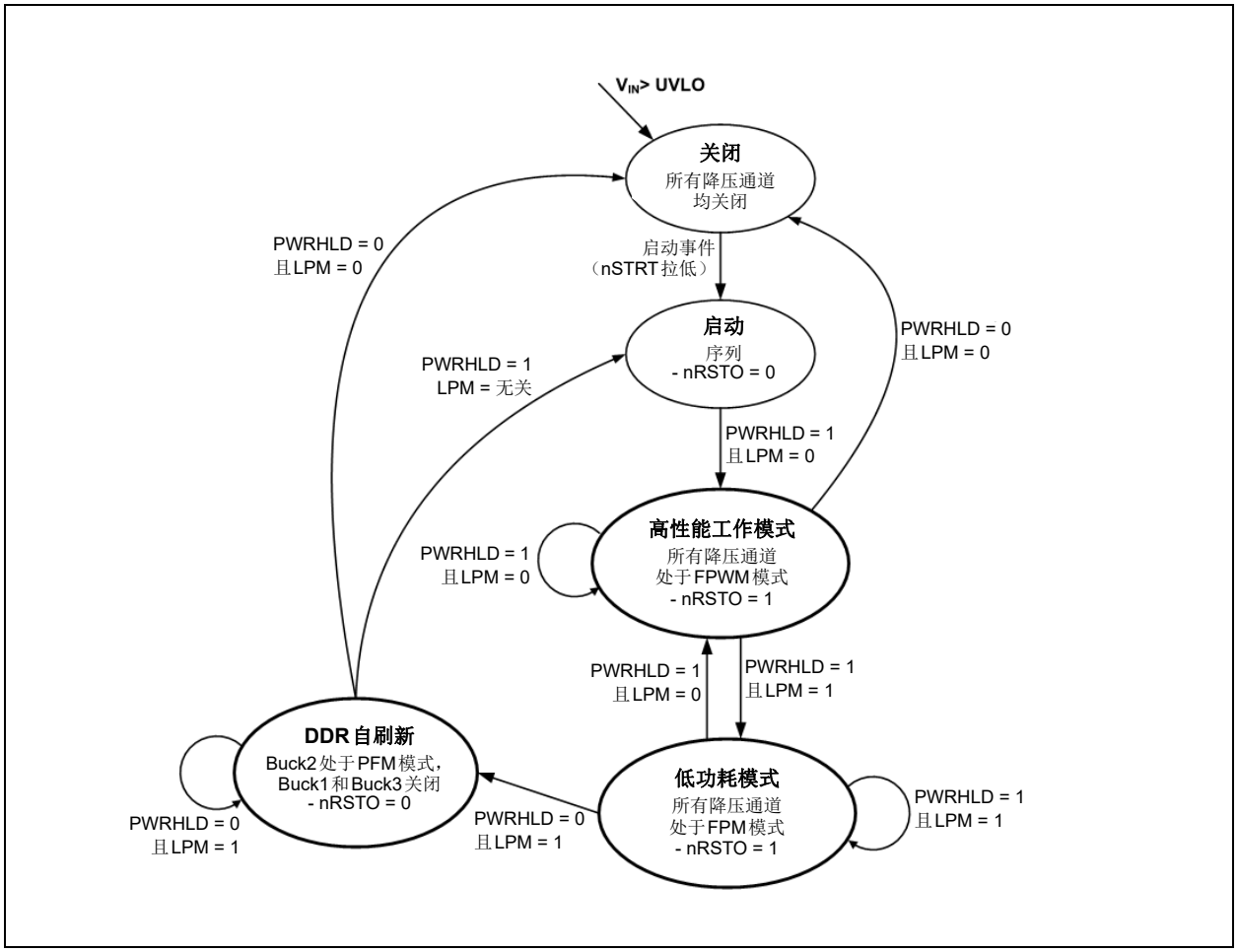


图4-2： MCP16501的有限状态机（Finite State Machine，FSM）状态图

© 2021 Microchip Technology Inc.

4.3.5 SELV2和SELV3引脚

引脚SELV2和SELV3用于对某些电压轨的默认设置进行编程，这些电压轨必须在上电序列期间激活，但其电压值取决于应用。它们是Buck2和Buck3，前者专用于DDRx/LPDDRx电源，而后者专用于内核电源。

默认值可以在三个选项中进行选择，分别对应相关引脚的三种不同状态：接地（低电平）、连接至输入电源（高电平）或不连接（高阻态）。

可以通过SELV2引脚选择Buck2默认电压，如下所示：

表4-3： V_{OUT2}默认电压与SELV2引脚的关系

SELV2状态	V_{OUT2}电压	DDR类型
低电平	1.2V	LPDDR2和LPDDR3
高阻态	1.35V	DDR3L
高电平	1.8V	DDR2

可以通过SELV3引脚选择Buck3默认电压，如下所示：

表4-4： V_{OUT3}默认电压与SELV3引脚的关系

SELV3状态	V_{OUT3}电压	eMPU类型
低电平	1V	SAM9-5
高阻态	1.15V	SAM9-6和SAMA7G
高电平	1.25V	SAMA5D2x

注： SELV2和SELV3在最终应用中始终采用硬接线，因此在运行期间无法动态更改。

一旦VIN电压超过**“电气特性”**表中指定的开启欠压锁定（Undervoltage Lockout，UVLO）阈值，SELV2和SELV3的状态便会冻结为快照。冻结为快照后，SELV2和SELV3引脚的任何更改均不起作用，VIN必须降至关断（下限）UVLO阈值以下才能取消冻结快照。

在应用中，这两个引脚可连接至GND（0V）、VIN或保持悬空。悬空时，内部电路最初在启动时激活以偏置SELV2和SELV3，从而进行正确的三态（悬空状态）检测。

为了在**“电气特性”**表中定义规范，我们给出了SELV2和SELV3引脚的高电平状态阈值电压（V_{IHT}）和低电平状态阈值电压（V_{ILT}）。它们均具有最小值和最大值规范。

获取快照时，应按以下方式来使用和解释这些最小值和最大值：

- 如果V_{IHT}(MAX) < V(SELVx) ≤ V(VIN) → SELVx被视为高电平
- 如果0V ≤ V(SELVx) < V_{ILT}(MIN) → SELVx被视为低电平
- 如果V_{ILT}(MAX) < V(SELVx) < V_{IHT}(MIN) → SELVx被视为悬空

如果V_{IHT}(MIN) ≤ V(SELVx) ≤ V_{IHT}(MAX)或V_{ILT}(MIN) ≤ V(SELVx) ≤ V_{ILT}(MAX)，SELVx的逻辑状态无法正确解析。因此，如果最终用户选择的连接与建议的连接（即连接至GND、VIN或不连接）不同，则应避免在上述范围内使用SELVx引脚。下面的图4-3也对此进行了说明：

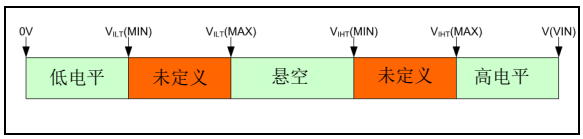


图4-3： SELVx高电平、低电平和悬空状态阈值

4.3.6 nRSTO（RESET输出）引脚

nRSTO引脚为低电平有效的漏极开路输出引脚，可将MPU保持在复位状态。成功完成启动序列后，再经过16 ms的延时，nRSTO引脚将释放（即变为高阻态）。当VIN电压降至UVLO阈值以下、在系统级检测到故障状态（例如热关断）或在降压通道中检测到过流状态时，nRSTO立即置为低电平。有关会导致nRSTO信号置为低电平的故障的更多详细信息，请参见**第5.4节“保护”**。当进入休眠模式时，nRSTO也会变为低电平。

4.4 上电/掉电/休眠序列和时序

4.4.1 典型上电序列和时序

典型方案适用于MPU应用，过程如下：

- 通过将LEN连接到VDDIO输出（仅限MCP16501D），先在t_1启动I/O电压（VDDIO），如有辅助LDO电压轨，也会同时启动。

- 接着经过 t_2 延时后，启动 DDR 电源 /DDRIO 电压（VDDIODDR）。从MPU角度来看，t_2并不是必须的，但它可为LPDDR2/3留出时间做好准备以使用外部1.8V DC-DC或LDO（VDDIODDR是LPDDR2/3的1.2V电源）。此DC-DC最初在启动时按VDDIO排序，在休眠模式（备用自刷新）下则通过VDDIODDR保持开启状态。
- 最后在经过t_3延时后，启动VDDCORE（对于其他MPU，则为VDDCPU）电压。
- 在上电序列中成功启动所有电压轨后，再经过一段t_4延时，复位信号（nRSTO）便会置为无效，此时软件可以开始执行。

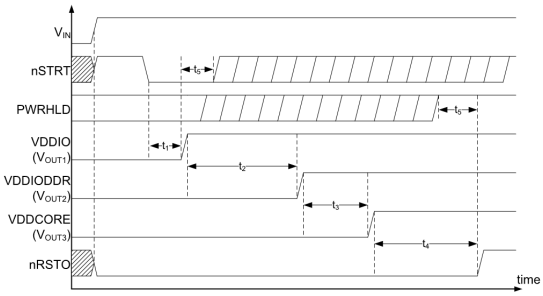
启动序列可以通过两种不同的方式启动，并且同样取决于应用中是否存在备用电源：

1. **nSTRT事件（nSTRT引脚拉低），通过PWRHLD置为有效来保持。**对于具有备用电池的应用，在nSTRT事件发生之前，PWRHLD信号通常已经为高电平。
2. **PWRHLD信号从低电平跳变为高电平（无论是否发生nSTRT事件）。**这仅适用于具有备用电源的应用。此模式通常由MPU关断和唤醒控制器（SHDWC）的外设发出的外部唤醒事件发起，该控制器在备用模式下仍处于上电状态。

注：	nSTRT事件需要将PWRHLD置为有效才能成功完成上电序列。如果在nRSTO要置为有效时，PWRHLD尚未变为高电平，则MCP16501将自动启动关闭序列，而nRSTO上不会产生任何正毛刺。

t_1延时充当nSTRT事件的去抖延时。因此，必须在t_1期间内连续检测到nSTRT为低电平才能验证启动事件并启动第一个序列步骤。在第一个序列步骤启动（t_1）之后，nSTRT可以随时释放为高电平。同样，在启动序列执行期间，nSTRT随后的高电平-低电平-高电平跳变虽然在nSTRTO输出上可见，但将被定序器忽略，不会复位正在执行的启动序列。

下面图4-4中的时序图给出了情形1的典型序列：



其中：

t_1 = 从nSTRT下降到第一个输出V_{OUT1}启动的延时（默认0.5 ms + 器件唤醒时间，约100 µs）

t_2 = 从V_{OUT1}建立到V_{OUT2}启动的时间（默认8 ms）

t_3 = 从V_{OUT2}建立到V_{OUT3}启动的时间（默认4 ms）

t_4 = 从V_{OUT3}建立到nRSTO置为无效的时间（默认16 ms）

t_5 = 建立/保持时间，最小值为0 µs（应用内部滤波）

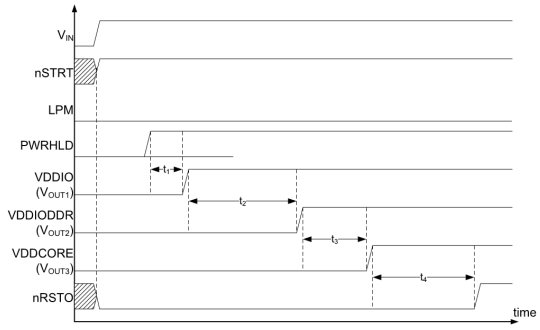
图4-4： *通过nSTRT启动的时序图*

© 2021 Microchip Technology Inc.

对于t_1至t_4时序的不同OTP选项，请参见“配置选项”中的相应值。

对于在t_1启动的电源，需为器件唤醒时间增加额外的延时间隔。

下面图4-5中的时序图给出了情形2的典型序列：



其中：

t_1 = 从PWRHLD置为有效到第一个输出V_{OUT1}启动的延时（默认0.5 ms + 器件唤醒时间，约100 µs）

t_2 = 从V_{OUT1}建立到V_{OUT2}启动的时间（默认8 ms）

t_3 = 从V_{OUT2}建立到V_{OUT3}启动的时间（默认4 ms）

t_4 = 从V_{OUT3}建立到nRSTO置为无效的时间（默认16 ms）

图4-5： *通过PWRHLD启动的时序图*

对于上述所有序列，可以假定LPM为低电平。MPU会在一段时间后根据软件决策将LPM置为有效，以进入低功耗模式。

4.4.2 上电序列流程图

启动序列分为三个步骤，每个降压稳压器都分配给一个特定的序列步骤：

- 在启动事件后经过一段延时（t_1），启动步骤1（Buck1）稳压器。如果在t_1结束后启动事件不再有效，则在启动第一个稳压器之前中止启动序列。
- 在序列步骤1完成后经过一段延时（t_2），启动步骤2（Buck2）稳压器（步骤1中使能的稳压器已正确上电）。
- 在序列步骤2完成后经过一段延时（t_3），启动步骤3（Buck3）稳压器（步骤2中使能的稳压器已正确上电）。

随后nRSTO是否置为有效取决于上电序列中所有已开启的稳压器的状态。其状态在启动计数器t_4之前检查，并在t_4结束时再次检查，以将nRSTO置为无效。

上电序列完成后（即nRSTO置为无效时），MCP16501将进入由LPM和PWRHLD信号以及相应的器件设置定义的电源模式状态机操作。

某些应在上电序列中开启的稳压器可能无法正确上电。

在这种情况下，序列引擎会增加32 ms的等待时间，以使受影响的稳压器恢复正常。32 ms时间结束后，如果受影响的稳压器仍未恢复，则启动序列将中止，MCP16501恢复关闭状态。

下一页上的图4-6给出了启动序列的流程图。

© 2021 Microchip Technology Inc.

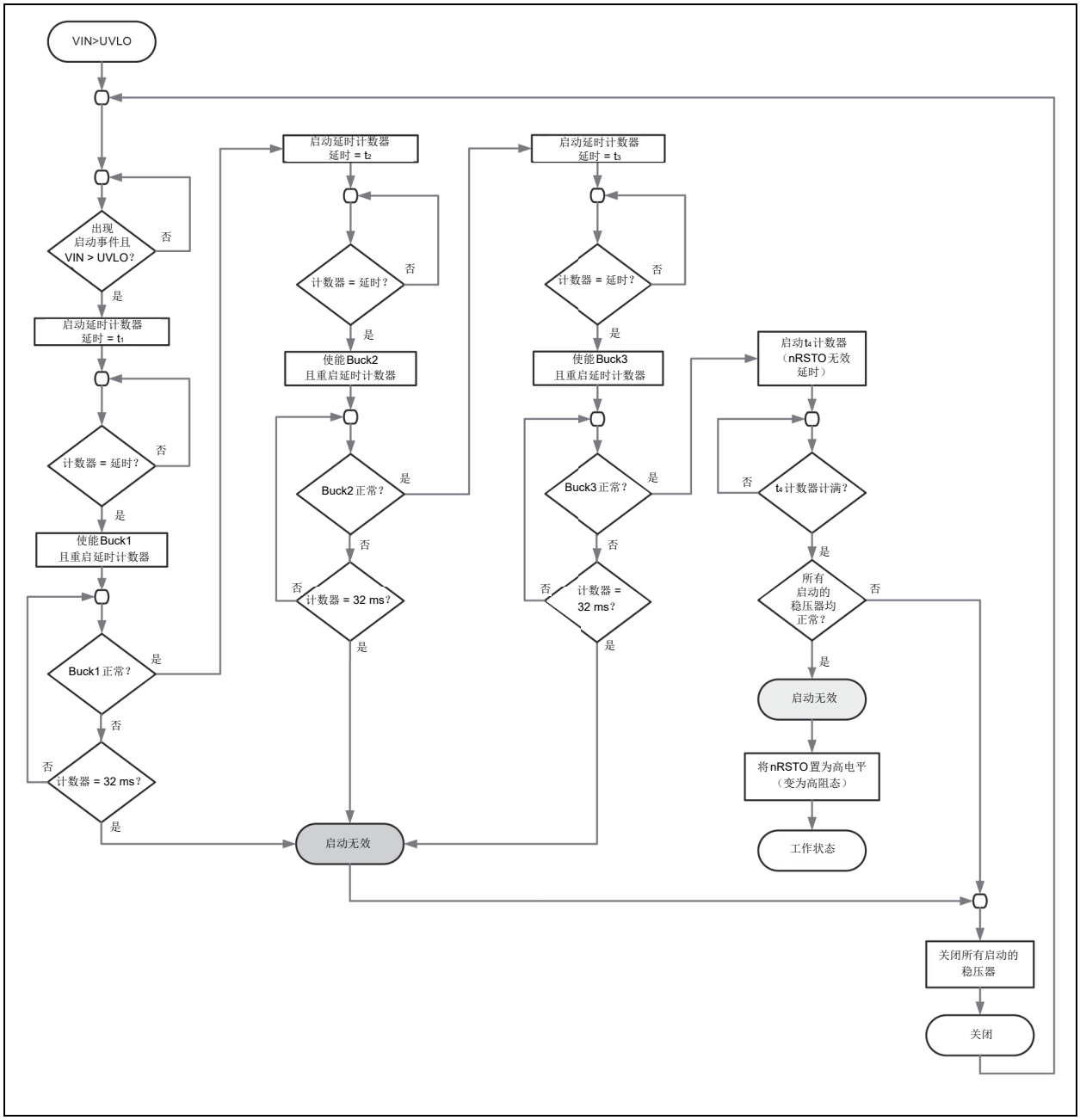

VIN>UVLO
出现
启动事件且
VIN > UVLO？
否
是
启动延时计数器
延时 = t1
计数器 = 延时？
否
是
使能Buck1
且重启延时计数器
Buck1 正常？
是
否
计数器 = 32 ms？
否
是
启动延时计数器
延时 = t2
计数器 = 延时？
否
是
使能Buck2
且重启延时计数器
Buck2 正常？
是
否
计数器 = 32 ms？
否
是
启动延时计数器
延时 = t3
计数器 = 延时？
否
是
使能Buck3
且重启延时计数器
Buck3 正常？
是
否
计数器 =
32 ms？
否
是
启动t4计数器
（nRSTO无效
延时）
t4计数器计满？
否
是
所有
启动的
稳压器均
正常？
否
是
启动无效
将nRSTO置为高电平
（变为高阻态）
工作状态
启动无效
关闭所有启动的
稳压器
关闭

图4-6： *启动序列流程图*

4.4.3 压差安全启动序列功能

即使某些电源通道可能会在中等负载的压差条件下工作，MCP16501的启动序列管理仍可确保后续步骤之间的时序可预测。

Buck1可能会出现这种情况，因为其输出电压范围（最高3.7V）与输入电源范围（2.7V-5.5V）重叠。

在电池供电的应用中经常会遇到这种工作条件。例如，某些专为3.3V标称电源电压设计的负载可能无法承受充满电后的电池电压（约4.2V），因此需要前端稳压器。但是，即使电池电压降低，致使前端稳压器出现压差，它们仍然可以工作。

例如，如果电池电压约为3.1V，同时Buck1的输出电压设置为3.3V，即使无法达到Buck1的POK（电源正常）阈值，仍可启动Buck1并继续执行整个启动序列，因为Buck1输出的电压仍在I/O工作电压范围内。这样就能更好地利用电池，因为截止电压不再受到3.3V稳压器（Buck1）的压差及POK阈值的限制。

在启动可能受影响的稳压器时，MCP16501通过专用电路监视输入-输出差，因此仍可确保系统正常启动。随后，MPU会检测异常（例如，通过测量Buck1的输出），并决定继续运行还是关闭系统。

启动POK旁路阈值是相关的**“电气特性”**表参数，它定义了可接受的输入-输出差值水平，可以在没有正常POK的情况下继续执行启动序列。

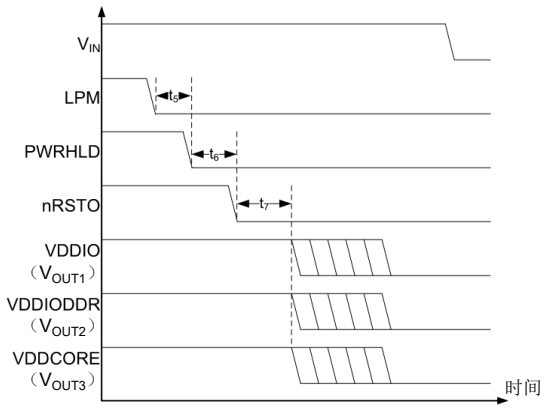
4.4.4 典型的掉电序列和时序

掉电（关闭）序列可以由MPU通过将PWRHLD置为无效（LPM已经为低电平或同时置为低电平）来启动。这种方法假定MCP16501处于工作状态（即不在启动序列之内）。

在PWRHLD置为无效后，MCP16501会立即将nRSTO置为低电平。之后，除了由LEN控制的LDO外，所有工作通道都将关闭。对于MCP16501D，将通过LEN与VOUT1的连接来关闭LDO。

此外，每个通道关闭时还会激活同一通道上的主动放电（使能时）。

图4-7中的时序图给出了掉电的典型序列。



其中：

t_5 = 从LPM = 0到PWRHLD = 0的建立时间：最小0 µs（应用内部滤波）

t_6 = 从PWRHLD置为无效到nRSTO置为有效的延时：最小0 µs，最大10 µs（非严格要求）

t_7 = 从nRSTO置为有效到第一个V_{OUTx}关闭的延时：最小0 µs，最大10 µs（非严格要求）

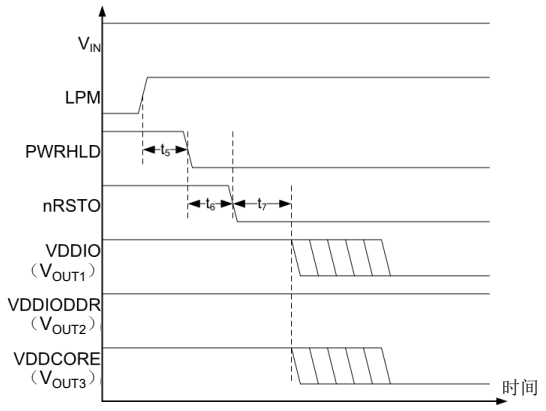
图4-7： *掉电（关断）序列时序图*

4.4.5 典型休眠序列和时序

休眠模式进入序列与掉电类似，惟一的区别是，在PWRHLD置为无效之前或者至少是在PWRHLD置为无效时，MPU会将LPM置为高电平（由于内部滤波的原因，建立时间t_5可短至0 µs）。例如，以MCP16501A型号为例，V_{OUT2}电压轨（和/或其他通过改写默认设置定义为在休眠模式下开启的电压轨）将保持工作状态，而V_{OUT1}和V_{OUT3}将立即禁止。在休眠模式下，DDRx/LPDDRx通常处于备用自刷新模式（BSR）。

下面图4-8中的时序图为典型的休眠模式序列，适用于在休眠模式下只开启V_{OUT2}的器件型号（例如MCP16501A）。

© 2021 Microchip Technology Inc.



其中：

t_5 = 从LPM = 1 到PWRHLD = 0 的建立时间：最小0 μs（应用内部滤波）

t_6 = 从PWRHLD置为无效到nRSTO置为有效的延时：最小0 μs，最大10 μs（非严格要求）

t_7 = 从nRSTO置为有效到第一个V_{OUTX}关闭的延时：最小0 μs，最大10 μs（非严格要求）

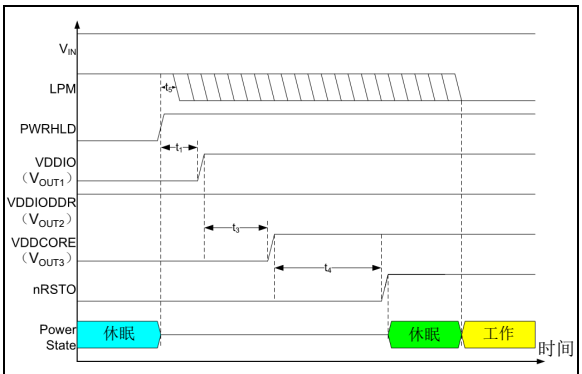
图4-8： *进入休眠模式时序图*

在休眠状态下，系统可以：

1. 切换到关闭状态（如果 LPM 也变为低电平，则V_{OUT2}可以立即关闭）；或
2. 通过使 PWRHLD 从低电平跳变为高电平来启动另一个启动序列（例外：已处于工作状态的Buck2）。

图4-9给出了休眠模式下的启动序列时序图。在PWRHLD置为有效之后，MPU可以随时将LPM置为无效。由于内部滤波的原因，允许LPM和PWRHLD同时跳变（保持时间t_5可以是0 μs）。

根据LPM置为无效的时间，MCP16501可在低功耗模式和非低功耗模式之间切换。



其中：

t_1 = 从PWRHLD 置为有效到第一个电源V_{OUT1}启动的延时（默认值为0.5 ms）

t_3 = 从V_{OUT1}建立到V_{OUT3}启动的时间（默认值为4 ms）

t_4 = 从V_{OUT3}建立到nRSTO置为无效的时间（默认值为16 ms）

t_5 = 从PWRHLD = 1 到LPM = 0 的最短保持时间：最小0 μs（应用内部滤波）

图4-9： *退出休眠模式时的启动序列时序图*

注： 退出休眠模式后，Buck2 便不在序列中，因为其已经开启（处于自动PFM模式）。但是，它可以在nRSTO置为无效时切换到FPWM模式，这同样取决于MPU何时将LPM置为无效。

4.4.6 故障和自动唤醒脉冲（AWKP）产生后的重启序列——仅限MCP16501D

由于支持LPDDRx（要求LPDDRx存储器电压轨之间的序列正确），因此MCP16501D采用不同的故障管理序列。其中包括关闭所有通道，然后自动执行重启序列，以确保按正确的顺序重启电源轨。

有关可触发新重启序列的故障的信息，请参见**第5.4节“保护”**。在MCP16501D的默认配置下，检测到故障后，所有通道上的供电将立即终止，MCP16501D将等待100 ms。在此等待时间过后，将生成新的启动序列，以尝试正确地重启系统。

在休眠模式下发生故障后，如果存在重启序列，则将提供特殊功能来支持系统恢复。在休眠模式下，MPU先前已将PWRHLD设置为低电平，因此MPU需要通过唤醒事件来将PWRHLD再次设置为高电平。该事件必须是硬件事件，针对MPU关断和唤醒控制器（SHDWC）模块内的某些I/O进行标记（例如，WKUPx或PIOBUx引脚上的逻辑跳变）。

但是，如果休眠模式下的故障引起重启序列，由于PWRHLD保持低电平，重启序列将不会成功完成，直到为MPU SHDWC生成唤醒事件为止。必须在启动序列完成之前将PWRHLD信号设为高电平，以便可以将nRSTO置为无效。

如果在休眠模式下发生了生成重启序列的故障，则可以通过MCP16501在nSTRTO输出上生成自动唤醒脉冲（AWKP）的方式来解决。

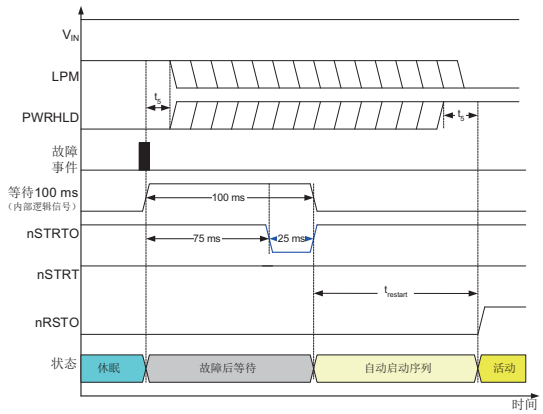
在MCP16501D中，AWKP功能默认为使能状态。

图4-10给出了休眠模式下由故障引起的重启序列的时序图。

在启动重启序列之前，即使nSTRT输入上没有低电平，MCP16501D也会在nSTRTO输出上产生25 ms（标称持续时间）的自动唤醒脉冲。这是惟一一种nSTRTO逻辑电平不反映nSTRT输入状态的情况。AWK脉冲的持续时间包含在自动重启序列之前的100 ms等待时间内。

当MPU SHDWC检测到nSTRTO信号为低电平后，PWRHLD通常会恢复高电平。如果LPM由于任何原因保持高电平，MCP16501D将在自动启动序列后立即进入低功耗模式。此行为如**第2.0节“典型性能曲线”**中的图2-21所示。

如果在除休眠之外的其他工作状态下执行故障后的重启序列，PWRHLD可能已经为高电平（在具有备用电源的应用中），也可能在VDDIO电压轨启动后立即恢复高电平，因此无需产生自动唤醒脉冲。



其中：

$t_{restart}$ = 自动启动（重启）序列的持续时间

t_5 = 最小建立/保持时间：最小0 µs（应用内部滤波）

图4-10： *自动唤醒脉冲生成时序图（休眠期间的故障）*

© 2021 Microchip Technology Inc.

4.5 配置选项

第4.0节“器件型号”中突出显示的器件型号在出厂时即带有可一次性编程存储器，该存储器用于配置上电时的默认设置。

为了适应将来可能出现的MPU或应用架构，可考虑使用以下配置来定义其他器件型号。

> **注：** 如果您在开发定制器件型号方面需要更多的帮助，请联系离您最近的Microchip销售办事处。

表4-5： 器件配置

设置	说明
RSTDLY	nRSTO有效延时（启动序列中的t_4）；选项包括：1 ms、2 ms、4 ms、8 ms、16 ms、32 ms、64 ms和128 ms；默认为16 ms
AWKPDIS	使能或禁止自动唤醒脉冲；默认为使能状态
VOUT[1,2,3]	降压输出电压，Buck1的输出范围在1.2V至3.7V之间，分辨率为50 mV，而Buck2和Buck3的输出范围在0.6V至1.85V之间，分辨率为25 mV
EN[1,2,3]	针对各个电源状态使能或禁止每个降压转换器
MODE[1,2,3]	针对各个电源状态为每个降压转换器开启FPWM或自动PFM模式
SSR[1,2,3]	降压转换器的软启动速率；选项包括：3.125 V/ms、1.563 V/ms、1.042 V/ms和0.781 V/ms；默认为3.125 V/ms
SEQ[1,2,3]	每个降压转换器的启动序列步骤
DELAY[1,2,3]	从上一个启动序列步骤或启动事件完成到开启（软启动开始）的延时；选项包括：0 ms、0.5 ms、1 ms、2 ms、4 ms、8 ms、12 ms和16 ms
B1HCEN	在自动PFM工作模式中使能或禁止Buck1的滞后控制模式；仅MCP16501E支持此控制模式
HCPEN[1,2,3]	使能或禁止每个降压转换器的打嗝短路保护；默认为使能状态，但MCP16501D除外。禁止时，短路将导致所有通道立即关闭，经过100 ms的等待时间后，执行自动重启序列。
DISCH[1,2,3]	通道关闭时使能或禁止主动输出放电；默认为使能状态
PHASE[1,2,3]	使每个降压通道与振荡器异相运行

注 1： [1,2,3]指各个降压通道设置

4.6 器件型号默认设置

下面的表4-6汇总了所有当前可用的器件型号及默认的寄存器设置。

表4-6： 默认寄存器设置与MCP16501器件型号

设置	电源状态	SELVx状态	MCP16501型号的默认设置				
			A	B	C	D	E
RSTDLY	无关	无关	16 ms	16 ms	16 ms	16 ms	16 ms
AWKPDIS	无关	无关	使能	使能	使能	使能	使能
VOUT[1]	无关	无关	3.3V	3V	2.8V	3.3V	3.3V
VOUT[2]	无关	SELV2 = 低电平	1.2V	1.2V	1.2V	1.2V	1.2V
VOUT[2]	无关	SELV2 = 高阻态	1.35V	1.35V	1.35V	1.35V	1.35V
VOUT[2]	无关	SELV2 = 高电平	1.8V	1.8V	1.8V	1.8V	1.8V
VOUT[3]	无关	SELV3 = 低电平	1V	1V	1V	1V	1V
VOUT[3]	无关	SELV3 = 高阻态	1.15V	1.15V	1.15V	1.15V	1.15V
VOUT[3]	无关	SELV3 = 高电平	1.25V	1.25V	1.25V	1.25V	1.25V
EN[1,2,3]	活动	无关	使能	使能	使能	使能	使能
EN[1,2,3]	低功耗	无关	使能	使能	使能	使能	使能
EN[1,3]	休眠	无关	禁止	禁止	禁止	禁止	禁止
EN[2]	休眠	无关	使能	使能	使能	使能	使能
MODE[1,2,3]	活动	无关	FPWM	FPWM	FPWM	FPWM	FPWM
MODE[1,2,3]	低功耗	无关	自动PFM	自动PFM	自动PFM	自动PFM	自动PFM
MODE[1,2,3]	休眠	无关	自动PFM	自动PFM	自动PFM	自动PFM	自动PFM
SSR[1,2,3]	无关	无关	3.125 V/ms	3.125 V/ms	3.125 V/ms	3.125 V/ms	3.125 V/ms
SEQ[1]	无关	无关	第1个	第1个	第1个	第1个	第1个
SEQ[2]	无关	无关	第2个	第2个	第2个	第2个	第2个
SEQ[3]	无关	无关	第3个	第3个	第3个	第3个	第3个
DELAY[1]	无关	无关	0.5 ms	0.5 ms	0.5 ms	0.5 ms	0.5 ms
DELAY[2]	无关	无关	8 ms	8 ms	8 ms	8 ms	8 ms
DELAY[3]	无关	无关	4 ms	4 ms	4 ms	4 ms	4 ms
B1HCEN	无关	无关	禁止	禁止	禁止	禁止	使能
HCPEN[1,3]	无关	无关	使能	使能	使能	禁止	使能
HCPEN[2]	无关	无关	使能	使能	使能	禁止	使能
DISCH[1,2,3]	无关	无关	使能	使能	使能	使能	使能
PHASE[1,3]	无关	无关	180°	180°	180°	180°	180°
PHASE[2]	无关	无关	0°	0°	0°	0°	0°

注 1： [1,2,3]指各个降压通道设置

© 2021 Microchip Technology Inc.

5.0 应用信息

5.1 推荐的外部元件

表5-1列出了可以在MCP16501应用中使用的器件的部件编号。有关元件标识的信息，请参见“典型应用电路”。

表5-1： 推荐的外部元件

项	部件编号	制造商	说明
C1-C3	C1608X5R1A226M080AC	TDK Corporation	Capacitor, 22 µF, 6.3V/10V, X5R, 20%, Size 0603
	GRM188R61A226ME15D	Murata Electronics®	
	C1608X5R0J226M080AC	TDK Corporation	
	GRM188R60J226MEA0	Murata Electronics	
	JMK107BBJ226MA	Taiyo Yuden Co., Ltd.	
	CL10A226MQ8NRNC	Samsung Electro-Mechanics America, Inc.	
	06036D226MAT2A	AVX Corporation	
C4-C6, C8 (for 300 mA max. LDO current),	C1005X5R1A475M050BC	TDK Corporation	Capacitor, 4.7 µF, 10V, X5R, 10%/20%, Size 0402
	GRM155R61A475MEAA	Murata Electronics	
	LMK105BBJ475MV	Taiyo Yuden Co., Ltd.	
	CL05A475M(K)P5NRNC	Samsung Electro-Mechanics America, Inc.	
	0402ZD475MAT2A	AVX Corporation	
C7, C8 (for 150 mA max. LDO current)	C1005X5R1A225K050BC	TDK Corporation	Capacitor, 2.2 µF, 10V/16V, X5R, 10%, Size 0402
	GRM155R61C225KE11	Murata Electronics	
	LMK105BJ225KV	Taiyo Yuden Co., Ltd.	
	CL05A225KP5NSNC	Samsung Electro-Mechanics America, Inc.	
	0402ZD225KAT2A	AVX Corporation	
R1	RC0402KR-07100KL	Yageo Corporation	Resistor, 100 kΩ, 5%, Size 0402
R2	RC0402KR-0710K0L	Yageo Corporation	Resistor, 10 kΩ, 5%, Size 0402
R3	MCMR04X1823FTL	Multicomp Inc.	Resistor, 182 kΩ, 1%, Size 0402
R4	MCMR04X1823FTL	Multicomp Inc.	Resistor, 182 kΩ, 1%, Size 0402
L1, L2, L3	MLP2520W1R5MT0S1	TDK Corporation	1.5 µH, 1.8A, 75 mΩ, Size 2520, Multilayer Ferrite
	LQM2HPN1R5MGH	Murata Electronics	1.5 µH, 1.6A, 65 mΩ, Size 2520, Multilayer Ferrite
	VLS252012CX-1R5M	TDK Corporation	1.5 µH, 2.3A, 62 mΩ, Size 2520, Wirewound Ferrite
	LQH2HPN1R5MGR	Murata Electronics	1.5 µH, 1.85A, 87 mΩ, Size 2520, Wirewound Ferrite
	CDPH28D11FNP-1R5MC	Sumida Corporation	1.5 µH, 1.74A, 69 mΩ, Size 3.0 mm x 3.2 mm, Wirewound Ferrite
	DFE252012P-1R5M=P2	Murata Electronics	1.5 µH, 2.6A, 60 mΩ Max, Size 2520, Metal Alloy
	DFE252012P-2R2M=P2	Murata Electronics	2.2 µH, 2.2A, 84 mΩ Max, Size 2520, Metal Alloy
	VLS252012HBX-1R5M-1	TDK Corporation	1.5 µH, 2.5A, 68 mΩ, Size 2520, Metal Alloy
	VLS252012HBX-2R2M-1	TDK Corporation	2.2 µH, 2.04A, 85 mΩ, Size 2520, Metal Alloy
	74438324015	Würth Elektronik	1.5 µH, 2.2A, 82 mΩ, Size 2520, Metal Alloy
	74438324022	Würth Elektronik	2.2 µH, 1.6A, 123 mΩ, Size 2520, Metal Alloy
	74404024015	Würth Elektronik	1.5 µH, 1.9A, 65 mΩ, Size 2520, Wirewound Ferrite
	74405024022	Würth Elektronik	2.2 µH, 1.6A, 100 mΩ, Size 2520, Wirewound Ferrite

© 2021 Microchip Technology Inc.

5.2 Buck1滞后控制模式（HCM）/ B1HCEN（仅限MCP16501E）

当输入电压（例如，放电电池）降低并最终使Buck1达到100%占空比（旁路模式）时，如果Buck1设置为自动PFM模式，则空载工作静态电流会因Buck1的开关活动而增大。

这是自动PFM架构的固有特性。静态电流的峰值在1 mA范围内，是否会损害整体系统效率和/或电池寿命主要取决于Buck1的最小负载。

如果应用要求在Buck1上接近旁路模式时增大静态电流，则用户可以选择MCP16501E，该器件具有另一种轻载高效工作模式（称为滞后控制模式，HCM），在这种模式下，输出电压增量将以滞后的方式被控制在标称输出电压的2.9%以内。这种控制方法显著减少了Buck1的平均开关活动（特别是在接近旁路工作模式时），但代价是增大输出纹波幅值。

因此，用户应仔细评估是否需要滞后控制模式，权衡一下延长电池寿命所带来的实际收益是否值得以增加输出纹波为代价。如果Buck1上的最小负载始终明显高于1 mA，则通常不需要HCM。

用于定义上限稳压阈值（通常为标称输出电压的+2.9%）的相关EC表参数为滞后控制模式上限稳压阈值。

只有在输入输出电压差降至某个值以下时，才会激活HCM模式。这样做是为了防止电感快速充电，但反过来又可能导致对有效上限稳压的控制效果变差。

用于定义输入电压阈值（下降输入电压）的相关“电气特性”表参数是滞后控制模式使能阈值，也可表示为标称输出电压值的百分比（通常为+9%），低于此阈值时将使能HCM。

5.3 休眠模式下的LPDDR2支持（仅限MCP16501D）

为了支持需要两个电源的LPDDR2应用，需使用LDO模块为LPDDR2产生1.8V电压。

对于MCP16501D，LDO部分包含在内部状态机中，以便LDO在休眠模式下保持开启状态。

根据LPDDR2上电规范，LDO LEN引脚必须连接到电压轨VOUT1（VDDIO），以便LDO（对于LPDDR2为1.8V）在VDDIO电压轨之后，Buck2（对于LPDDR2为1.2V）之前立即开启。

在该特定应用中，SELV2会连接到GND，以便将LPDDR2 VDD2/VDDCA/VDDQ的VOUT2稳压到1.2V，而LDO反馈电阻（R3和R4）会选择相等的值，以便将LPDDR2 VDD1电压轨的LDO输出稳压到1.8V。

“典型应用电路”部分重点介绍了这一特定用例。

对于MCP16501D这一特定情况，HCPEN禁止，这样一来，一个通道上的任何短路事件均会触发关闭所有通道并执行启动过程。这种方法可确保对LPDDR2电源轨正确地重新排序，而与受短路影响的特定通道无关。

5.4 保护

MCP16501提供以下功能：

- 热关断
- 过流保护

当管芯温度超过上限热关断阈值时，热关断保护将立即终止所有通道上的供电。同时，nRSTO将置为低电平。

当管芯温度降至下限热关断阈值（迟滞 = 20°C）以下，再经过一段100 ms的额外延时后，MCP16501将自动尝试新的启动序列，而无需外部启动条件（来自nSTRT或PWRLHD）。

5.4.1 过流保护（降压通道）

过流保护包括带有数字滤波功能的逐周期上桥臂电流限制以及防止短路的打嗝模式。

逐周期上桥臂电流限制包括频率折返。由于峰值电流模式控制中的前沿消隐（Leading-Edge Blanking，LEB）的原因，将使用频率折返（系数 = 4）来为电感放电留出更多时间，并防止在深度过载情况下发生电流失控。

在以下情况下，将进入频率折返工作模式：

1. 检测到上桥臂电流限制事件；以及
2. 反馈电压小于500 mV（典型值）。

© 2021 Microchip Technology Inc.

具有频率折返的逐周期过流保护始终处于工作状态，这是第一种电流限制保护机制。

第二种电流限制机制是打嗝模式保护，该机制也始终使能，包括软启动斜坡期间。

由于打嗝模式保护在软启动期间也处于工作状态，因此最大同时直流和容性负载将受到限制，以确保软启动斜坡期间不会使能打嗝模式保护。**第5.5节“软启动期间可承受的最大容性和直流负载”**对此进行了详细介绍。

打嗝模式基于上桥臂过流（High-Side Overcurrent，HS OC）事件的数字计数来调用，而与其发生的频率（完整开关频率或折返开关频率）无关。

每次过流保护检测到上桥臂电流限制事件时，电流导通时间都将终止，HS OC事件计数器将递增。计数器的长度为4位。

如果计数器达到其计数结束（EOC）值时POK信号的瞬时值仍为低电平，则将关闭降压转换器（上桥臂和下桥臂晶体管均关闭），并且会触发打盹模式保护。

打盹模式对任何降压通道的干预都可能有两种不同的行为，具体取决于受过流条件影响的通道的HCPEN状态。默认情况下，MCP16501的所有器件型号均使能HCPEN，但MCP16501D除外。

如果HCPEN禁止，打嗝模式的干预行为是立即终止包括LDO在内的所有通道的供电。同时，nRSTO将置为低电平。

经过100 ms的延时后，MCP16501D将自动尝试新的启动序列，而无需外部启动条件（来自nSTRT或PWRHLD）。

如果使能HCPEN，打嗝模式的干预行为是仅终止责任相关降压通道的供电。所有其他通道将继续正常工作。如果受影响的通道是上电序列的一部分，则nRSTO将置为低电平。

受影响的通道将在特定的打嗝时间（t_{HICCUP}）内保持关闭，持续时间相当于该通道软启动时间的3倍，待打嗝时间结束后尝试新的软启动。

如果短路条件已消除，并且受影响的通道已恢复正常工作，则nRSTO将在复位延时（t_4）之后置为高电平。

HS OC事件计数器仅在连续15个HS导通脉冲都没有出现过流事件之后才会复位。脉冲计数由复位计数器执行。

请注意，所有计数均基于开关事件，因此开关是在f_{sw}还是在$f_{sw}/4$（即频率折返）下进行无关紧要。

图5-1给出了详细的打嗝模式流程图。

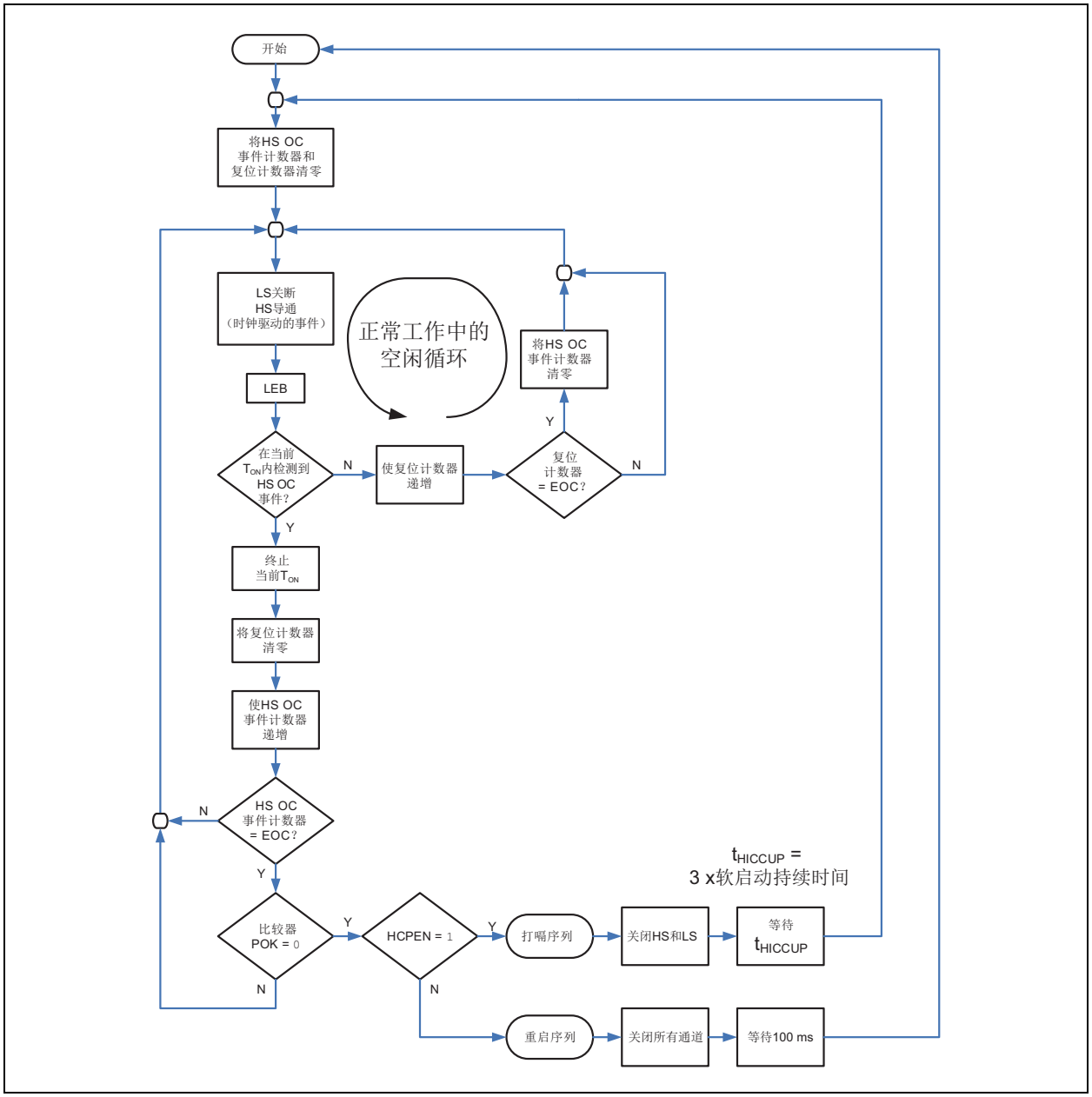


图5-1： *打嗝模式保护流程图*

© 2021 Microchip Technology Inc.

5.4.2 PWM模式负电流限制保护（降压通道）

在强制PWM模式下工作时，MCP16501的降压通道还具有负电感电流限制保护功能。此功能可以防止电源系统中出现危险电流。如果电感电流在下桥臂MOSFET导通时达到下桥臂负峰值电流限值（I_{LIM_NEGx}），则下桥臂MOSFET关断，电感电流将通过上桥臂MOSFET（关断时）的内部二极管或其通道（通过控制环导通时）流向输入电压。这种保护的干预不会引起nRSTO（复位）信号置为有效。

请勿连续和/或在没有大输入电容的情况下执行此保护，否则可能会迅速损坏器件。

使能此保护后，能量将从输出泵回至输入电压。如果输入电源没有灌电流能力和/或输入去耦电容不够大，则输入电压会不断上升，直到永久损坏器件。

5.4.3 LDO限流保护

LDO通过线性恒压/恒流（即矩形）输出特性来防止短路。短路条件下的输出电流不是间歇性的。因此，在LDO短路条件下，MCP16501的内部功耗会达到很高的水平。LDO电流限制保护的干预自身不会引起nRSTO（复位）信号置为有效。

5.5 软启动期间可承受的最大容性和直流负载

MCP16501中的降压通道采用电流模式架构，从稳定性的角度来看，它能够承受额外的容性负载。

但是，由于在软启动期间还使能了打嗝模式过流保护，因此用户需要注意，分布在应用板上的附加负载电容可能会在动态条件（输出电压上升）下引发打嗝模式保护的干预。

这对于Buck1尤为重要，因为I/O电压轨（通常为3.3V）可用于多种负载，并且其总分布容性负载可能会远远超过建议的最小标称电容值（即22 µF）。

公式5-1使用**“交流/直流特性”**表中的符号来确立最大电容负载C_{add_max}的计算公式，以防止发生逐周期电流限制事件。

如果电容值不超过最大值，在软启动斜坡期间就不会激活打嗝模式过流保护。

即使超过最大值，也不意味着一定会引发打嗝模式保护。打嗝模式过流算法中的数字滤波功能（如**第5.4.1节“过流保护（降压通道）”**所述）可以确保系统不受单个，甚至多个逐周期电流限制事件的影响，并能够在软启动期间在接近上桥臂电流限值的条件下长时间工作。

公式5-1：

$$C_{add_max} = \left(\frac{I_{LIM_HS}}{r} - I_{OUT}\right) \cdot \frac{1}{SSR} - C_{OUT}$$

其中：

I_{LIM_HS} = 上桥臂MOSFET电流限值

r = $I_{Lpk} = I_{LIM_HS}$时的峰值电感电流I_{Lpk}与平均电感电流之比。为简单起见，假设r = 1，因为在使能上桥臂电流限制时，峰-峰值电感电流纹波相比于平均电感电流值而言很小。

I_{OUT} = 降压转换器的输出电流

SSR = 软启动速率

C_{OUT} = 降压转换器输出上已有的输出电容（通常，C_{OUT} = 22 µF）

因此，通过实验可以观察到的附加电容最大值C_{add_max}明显高于使用上述公式计算得出的限值。

5.6 用于在V_{IN}斜升时实现自动启动的nSTRT电容

如图4-1所示，可以在nSTRT引脚上连接一个电容，将MCP16501配置为在输入电压（V_{IN}）斜升/掉电再上电后自动启动。电容（图4-1中的C）的作用是在V_{IN}斜升时延迟nSTRT引脚的上升，这样nSTRT引脚在VIN引脚电压（连接到V_{IN}）稳定后仍能保持低电平，直到被系统视为有效的启动事件（即长于t_1，请参见**第4.4.1节“典型上电序列和时序”**）。

假设V_{IN}斜升时间比nSTRT引脚电压的上升时间短得多，通过公式5-2可得出产生有效启动事件所需的电容推荐值：

公式5-2：

$$C > \frac{t_1 + \Delta t}{R_{PU_nSTRT} \cdot \log e\left(\frac{V_{IN}}{V_{IN} - V_{IL_nSRT}}\right)} = \frac{t_1 + \Delta t}{R_{PU_nSTRT} \cdot \log e\left(\frac{1}{1 - 0.36}\right)} = 2.24 \cdot \frac{t_1 + \Delta t}{R_{PU_nSTRT}}$$

其中：

R_{PU_nSTRT} = nSTRT引脚上拉电阻（典型值为40 kΩ）

V_{IL_nSTRT} = nSTRT逻辑低电平输入电压（0.36 V_{IN}，最大值）

V_{IN} = 输入电压（VIN引脚连接到电压V_{IN}）

t_1 = 从nSTRT下降到第一个输出V_{OUT1}启动的延时（≈ 0.5 ms）；请参见**第4.4.1节“典型上电序列和时序”**

Δt = 从VIN电压建立到在nSTRT上检测到逻辑低电平的额外延时（由于内部逻辑唤醒时间所致）：≈ 100 µs

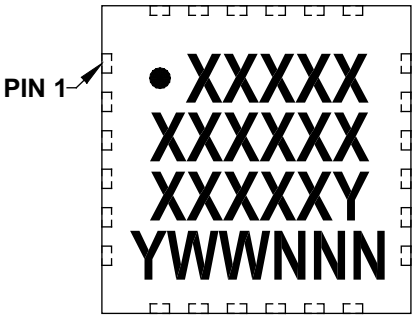
选择电容C之后，必须将得到的C R_{PU_nSTRT}时间常数与实际V_{IN}斜升时间进行比较，以验证nSTRT上升时间确实长得多。

时间常数C R_{PU_nSTRT}应比应用中预期的最长V_{IN}斜升时间至少大一个数量级。如果不是这样，则必须进一步增加电容值C。使用1 µF电容（C）时，C R_{PU_nSTRT}时间常数将为40 ms，这对于ms范围内的V_{IN}斜升时间已经足够。

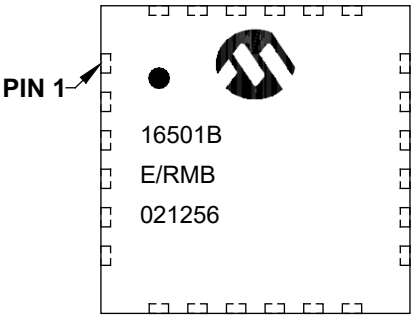
© 2021 Microchip Technology Inc.

6.0 封装标识信息

MCP16501
4 x 4 mm VQFN-24



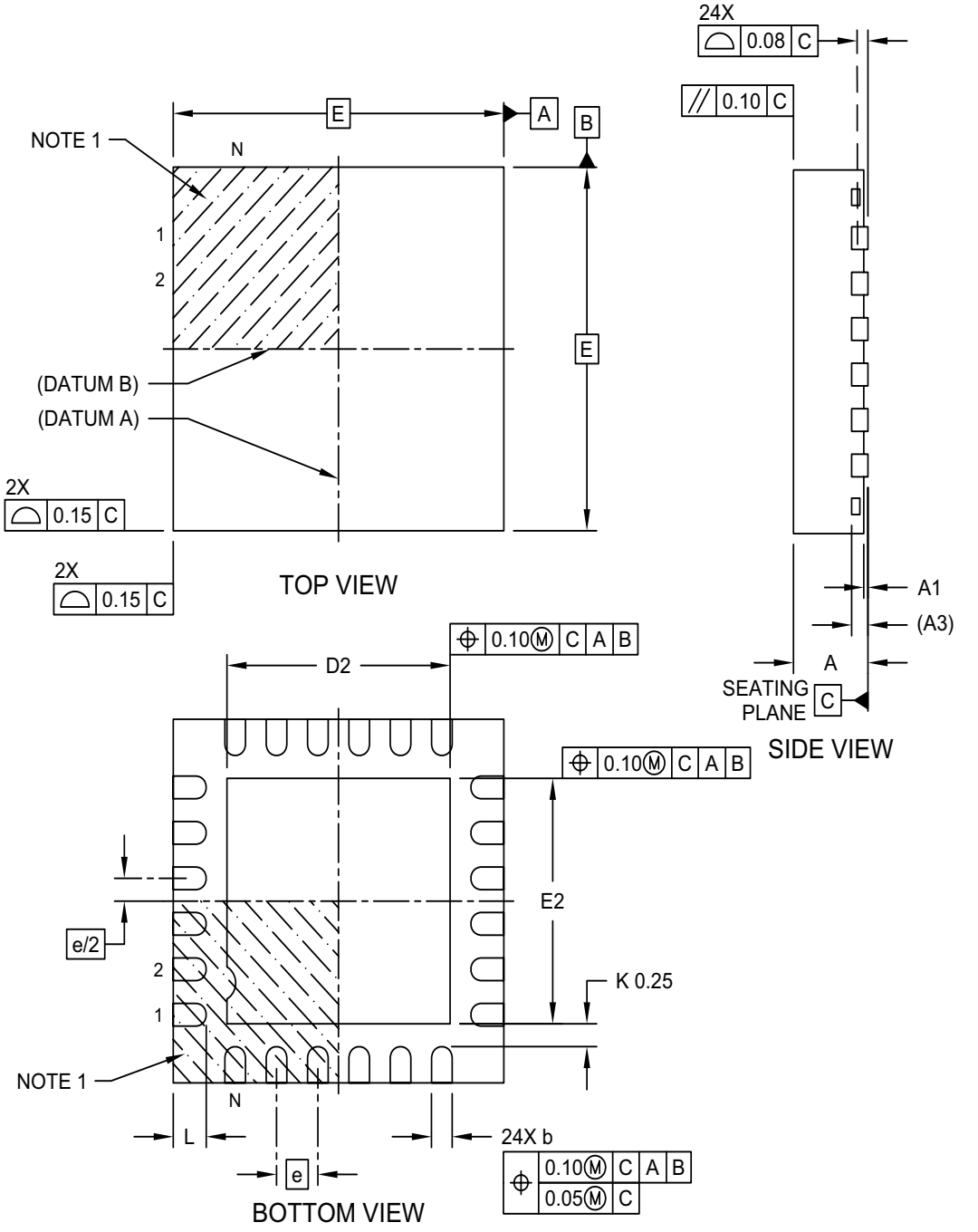
示例



图注：	XX...X	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）
	WW	星期代码（一月一日的星期代码为“01”）
	NNN	以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。
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。	

24引脚塑封超薄正方扁平无引线封装（RMB）——主体4x4 mm [VQFN]
原Atmel全球封装代码ZZP

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

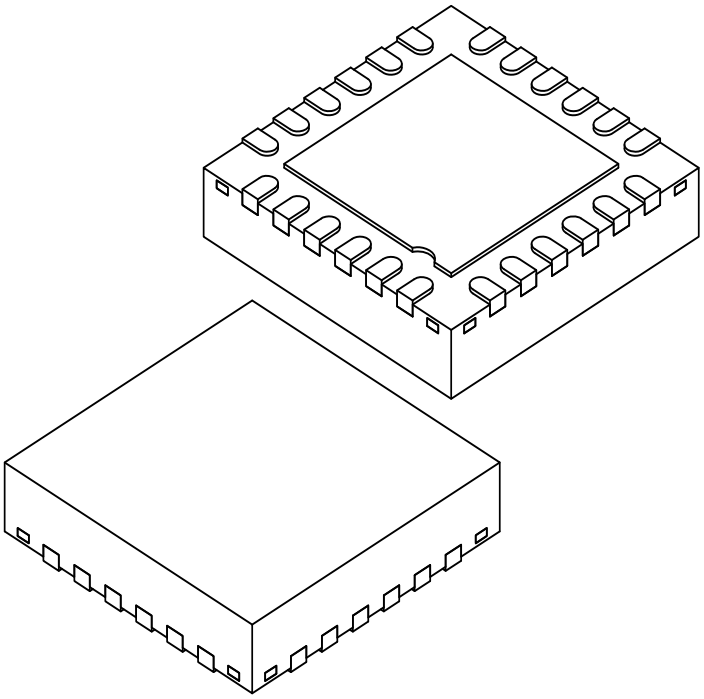


Microchip Technology Drawing C04-21387 Rev A Sheet 1 of 2

© 2021 Microchip Technology Inc.

24引脚塑封超薄正方扁平无引线封装（RMB）——主体4x4 mm [VQFN]
原Atmel全球封装代码ZZP

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



Units		MILLIMETERS		
Dimension Limits		MIN	NOM	MAX
Number of Terminals	N	24		
Pitch	e	0.50 BSC		
Overall Height	A	-	-	0.90
Standoff	A1	0.00	-	0.05
Terminal Thickness	A3	0.203 REF		
Overall Length	D	4.00 BSC		
Exposed Pad Length	D2	2.60	2.70	2.80
Overall Width	E	4.00 BSC		
Exposed Pad Width	E2	2.60	2.70	2.80
Terminal Width	b	0.18	0.25	0.30
Terminal Length	L	0.30	0.40	0.50
Terminal-to-Exposed-Pad	K	0.20	-	-

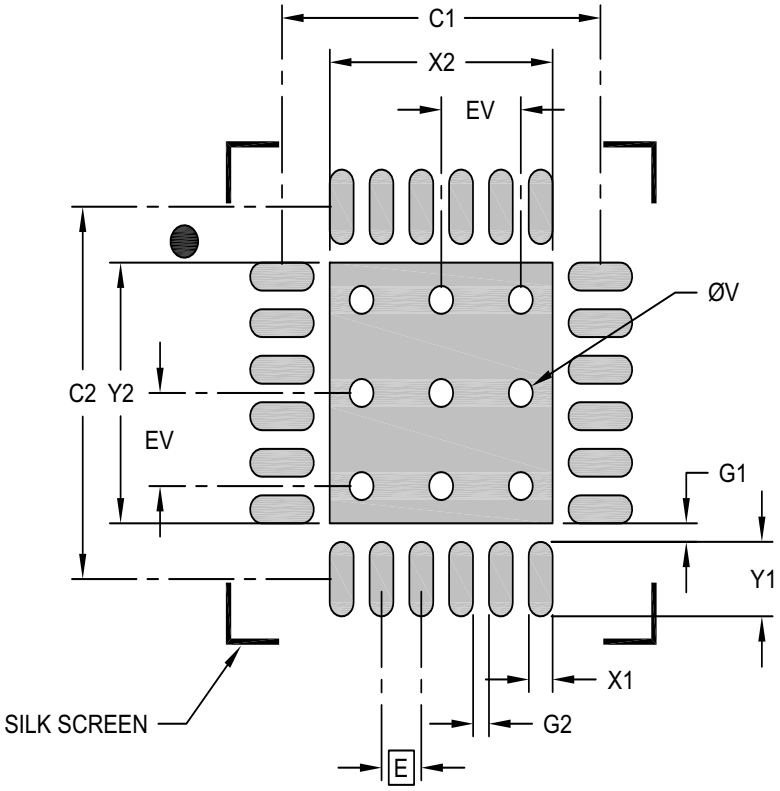
Notes:

1. Pin 1 visual index feature may vary, but must be located within the hatched area.
2. Package is saw singulated
3. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M
   BSC: Basic Dimension. Theoretically exact value shown without tolerances.
   REF: Reference Dimension, usually without tolerance, for information purposes only.

Microchip Technology Drawing C04-21387 Rev A Sheet 2 of 2

24引脚塑封超薄正方扁平无引线封装（RMB）——主体4x4 mm [VQFN]
原Atmel全球封装代码ZZP

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



RECOMMENDED LAND PATTERN

Units		MILLIMETERS		
Dimension Limits		MIN	NOM	MAX
Contact Pitch	E		0.50 BSC	
Optional Center Pad Width	X2			2.80
Optional Center Pad Length	Y2			2.80
Contact Pad Spacing	C1		4.00	
Contact Pad Spacing	C2		4.00	
Contact Pad Width (X24)	X1			0.30
Contact Pad Length (X24)	Y1			0.80
Contact Pad to Center Pad (X24)	G1	0.20		
Contact Pad to Contact Pad (X20)	G2	0.20		
Thermal Via Diameter	V		0.30	
Thermal Via Pitch	EV		1.00	

Notes:

1. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M
   BSC: Basic Dimension. Theoretically exact value shown without tolerances.
2. For best soldering results, thermal vias, if used, should be filled or tented to avoid solder loss during reflow process

Microchip Technology Drawing C04-23387 Rev A

© 2021 Microchip Technology Inc.

附录A： 版本历史

版本A（2020年7月）

- 本文档的初始版本。

版本B（2020年8月）

- 对PIS部分进行了少量修改。

注：

© 2021 Microchip Technology Inc.

注：

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	X(1)	X	–	X	/XX
器件	卷带式选项	器件选项		结温范围	封装

器件：	MCP16501成本和尺寸经过优化的PMIC		
卷带式选项：	T	=	卷带式(1)
器件型号：	A	=	A型号
	B	=	B型号
	C	=	C型号
	D	=	D型号
	E	=	E型号
结温范围：	E	=	-40°C至+125°C（扩展级）
封装	RMB	=	24引脚塑封超薄正方扁平无引线封装（VQFN）——主体4x4 mm

示例：

a) MCP16501TA-E/RMB： 成本和尺寸经过优化的PMIC，卷带式，A型号，-40°C至+125°C，24引脚4 x 4 VQFN封装

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。

© 2021 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规范。
- Microchip 确信：在正常使用的情况下， Microchip 系列产品非常安全。
- 目前，仍存在着用恶意、甚至是非法的方法来试图破坏代码保护功能的行为。我们确信，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。这种试图破坏代码保护功能的行为极可能侵犯 Microchip 的知识产权。
- 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。

本出版物中提供的信息仅仅是为方便您使用 Microchip 产品或使用这些产品来进行设计。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 “按原样” 提供这些信息。 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，包括但不限于针对非侵权性、适销性和特定用途的适用性的暗示担保，或针对其使用情况、质量或性能的担保。

在任何情况下，对于因这些信息或使用这些信息而产生的任何间接的、特殊的、惩罚性的、偶然的或间接的损失、损害或任何类型的开销， Microchip 概不承担任何责任，即使 Microchip 已被告知可能发生损害或损害可以预见。在法律允许的最大范围内，对于因这些信息或使用这些信息而产生的所有索赔， Microchip 在任何情况下所承担的全部责任均不超出您为获得这些信息向 Microchip 直接支付的金额 （如有）。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损害、索赔、诉讼或费用时，会维护和保障 Microchip 免于承担法律责任。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。

有关 Microchip 质量管理体系的更多信息，请访问 www.microchip.com/quality。

商标

Microchip 的名称和徽标组合、 Microchip 徽标、 Adaptec、AnyRate、AVR、AVR 徽标、AVR Freaks、BesTime、BitCloud、chipKIT、 chipKIT 徽标、 CryptoMemory、 CryptoRF、 dsPIC、FlashFlex、flexPWR、 HELDO、 IGLOO、 JukeBlox、 KeeLoq、Kleer、 LANCheck、 LinkMD、 maXStylus、 maXTouch、MediaLB、 megaAVR、 Microsemi、 Microsemi 徽标、 MOST、MOST 徽标、 MPLAB、 OptoLyzer、 PackeTime、 PIC、picoPower、 PICSTART、 PIC32 徽标、 PolarFire、 Prochip Designer、 QTouch、 SAM-BA、 SenGenuity、 SpyNIC、 SST、SST 徽标、 SuperFlash、 Symmetricom、 SyncServer、Tachyon、 TimeSource、 tinyAVR、 UNI/O、 Vectron 及 XMEGA 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家或地区的注册商标。

AgileSwitch、 APT、 ClockWorks、 The Embedded Control Solutions Company、 EtherSynch、 FlashTec、 Hyper Speed Control、 HyperLight Load、 IntelliMOS、 Libero、 motorBench、mTouch、 Powermite 3、 Precision Edge、 ProASIC、 ProASIC Plus、 ProASIC Plus 徽标、 Quiet-Wire、 SmartFusion、SyncWorld、 Temux、 TimeCesium、 TimeHub、 TimePictra、TimeProvider、 WinPath 和 ZL 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国的注册商标。

Adjacent Key Suppression、 AKS、 Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、 AnyIn、 AnyOut、 Augmented Switching、BlueSky、 BodyCom、 CodeGuard、 CryptoAuthentication、CryptoAutomotive、 CryptoCompanion、 CryptoController、dsPICDEM、 dsPICDEM.net、 Dynamic Average Matching、DAM、 ECAN、 Espresso T1S、 EtherGREEN、 IdealBridge、 In-Circuit Serial Programming、 ICSP、 INICnet、 Intelligent Paralleling、 Inter-Chip Connectivity、 JitterBlocker、 maxCrypto、maxView、 memBrain、 Mindi、 MiWi、 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、 RTAX、 RTG4、 SAM-ICE、 Serial Quad I/O、simpleMAP、 SimpliPHY、 SmartBuffer、 SMART-I.S.、 storClad、SQI、 SuperSwitcher、 SuperSwitcher II、 Switchtec、SynchroPHY、 Total Endurance、 TSHARC、 USBCheck、VariSense、 VectorBlox、 VeriPHY、 ViewSpan、 WiperLock、XpressConnect 和 ZENA 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家或地区的商标。

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

Adaptec 徽标、 Frequency on Demand、 Silicon Storage Technology 和 Symmcom 均为 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。

© 2021, Microchip Technology Incorporated 版权所有。

ISBN：978-1-5224-7482-1

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: 45-4485-5910
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: 49-7131-72400

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

© 2021 Microchip Technology Inc.