



具有太阳能板最大功率点跟踪MPPT功能，独立I²C控制 支持5V3A放电，双向升降压1~6节串联电池充放电控制器

概要

CS5653D是一款宽输入电压，支持锂离子、锂聚合物、磷酸铁锂的，双向开关模式同步4管、升降压电池充放电控制器。无论输入电压是低于，高于或者等于电池组电压，它都可以对电池组实现充电管理，包括涓流、恒流、恒压阶段和充电状态指示。当系统需要从电池组放电时，CS5653D能够反向输出所需电压，可输出低于，高于或者等于电池组的电压值。

CS5653D拥有超宽范围的输入输出电压。它可支持从3.8V~32V的应用范围，满足客户从1~6节锂电池的不同需求。CS5653D采用7V驱动器电压，充分利用外置功率管以达到较高的转换效率。

CS5653D可以通过外部电阻调节电池电压设置值以及输入输出限流值，最大限度地满足在不同应用需求的同时简化外围设计。

CS5653D支持双向输出，通过DIR管脚即可控制工作方向。它同时支持包括输入限流、输出限流、输出过压保护、短路保护以及过温保护等一系列保护功能，以确保系统能适应各种异常情况。

CS5653D支持I²C接口来控制充放电过程的各个细节参数、电池节数及电池规格。除了I²C主机控制之外，无需任何软件干预，整个充放电完整周期，可由外围硬件参数直接独立控制。

CS5653D内置10位模数转换器（ADC），用于实时监测输入电流、充电电流以及输入电压、电池电压。

描述

- 双向升降压工作，支持反向放电5V3A
- 宽输入电压工作范围：3.8V~32V
- 宽电池电压工作范围：高至32V，支持多种电池类型：1~6节串联锂离子/1~8节串联磷酸铁锂电池
- 开关频率400KHz
- 太阳能板最大功率点跟踪MPPT功能
- 充电电压调节精度±1%
- 输入欠压保护、电池过压/短路保护
- 可调节输入输出电流限流
- 充电超时保护功能、过温保护
- 充电器工作状态双路指示灯
- NTC功能（I²C可开启JEITA1/JEITA2充电规范）
- 支持I²C控制
- 集成10位ADC，用于输入输出的电压、电流监测

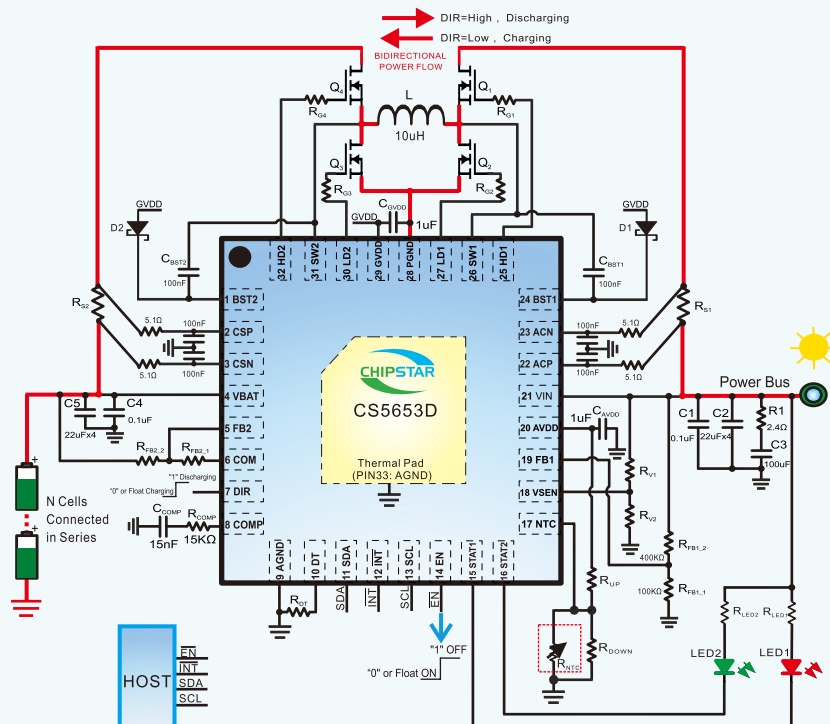
应用

- 太阳能充电器、智能USB插座、USB HUB、USB PD
- 无线吸尘器、扫地机器人
- 移动电源、便携式电源站
- 无线电动工具、园艺工具、割草机器人
- 电动滑板车、电动自行车、车载充电器

封装

- QFN4X4_32L

典型应用图



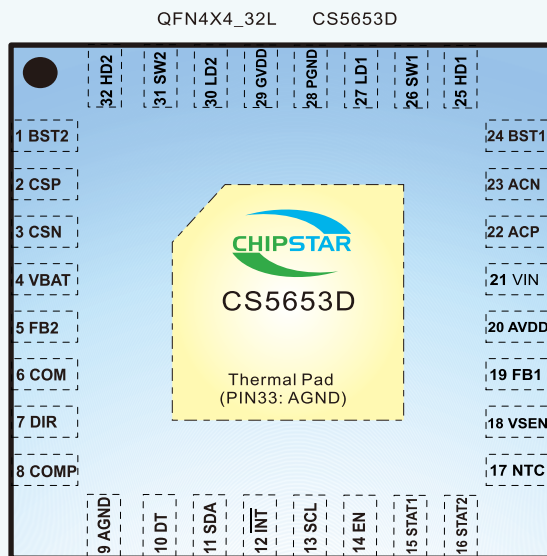
CS5653D应用电路图
(备注详见第2页)



备注:

- (1) L功率电感的饱和电流值须仔细进行确认，并留有足够余量。
- (2) 肖特基二极管D1,D2，其饱和电流值大于100mA即可，耐压值至少等于所选的功率MOS最高耐压。
- (3) 功率电阻 $R_{DS(on)}$ /R_{DS(on)}用来设定充电电流值，须紧靠其两端进行抽头。
- (4) 其他管脚的贴片电容尽量靠近芯片管脚布局。
- (5) 芯片EN管脚为低压管脚，内部有370KΩ下拉电阻。
- (6) 为了降低尖峰毛刺以及优化EMI,在SW1、SW2分别加RC吸波电路。
- (7) 图中INT、SCL、SDA管脚为标准的I²C接口，如果不用，可以全部接地。
- (8) 芯片长时间工作在高压大电流充电，必须优化加强其散热，否则应该适当降低充电电流使用。
- (9) 图中红色实线为流大电流路径。

引脚排列以及定义



TOP PERSPECTIVE VIEW



管脚编号	管脚名称	I/O	功能
1	BST2	P	升压侧高端功率MOSFET栅极驱动器电源。
2	CSP	I	充电电流采样电阻正端输入。
3	CSN	I	充电电流采样电阻负端输入。
4	VBAT	P	连接电池正极，并在紧靠芯片的位置连接1uF旁路电容到地。
5	FB2	I	充电电压分压电阻反馈点。
6	COM	I	FB2 检测电阻到地连接引脚。
7	DIR	I	设置芯片的工作方向，该管脚内置 370K 左右的下拉电阻，低电平或浮空为充电状态，高电平为反向放电状态。
8	COMP	O	外接电阻电容网络对内部控制环路进行补偿。
9	AGND	-	模拟地
10	DT	I	死区时间设定引脚。
11	SDA	I/O	为 I ² C 接口的串行数据总线。
12	INT	O	为 I ² C 接口的中断输出引脚。
13	SCL	I	为 I ² C 接口的串行时钟总线。
14	EN	I	为芯片使能引脚，内置 370K 左右下拉电阻，该端口接地或者浮空可以使芯片使能；若要关断芯片，则将该管脚接高电平即可。
15	STAT1	O	开漏结构充电状态 1 输出
16	STAT2	O	开漏结构充电状态 2 输出
17	NTC	I	电池温度检测引脚
18	VSEN	I	VIN 电源检测输入自适应点端口
19	FB1	I	通过FB1管脚连接的外部分压电阻，设定放电模式下VIN端输出电压值。
20	AVDD	P	内部模块 5V 模拟电源 LDO 输出端，当低于设定值，会跟随供电电压，供电电压为输入/输出电压中较大值。
21	VIN	P	当 DIR 为低电平时，为芯片输入电源；当 DIR 为高电平时，为芯片反向输出电源。
22	ACP	I	适配器电流采样电阻正输入端
23	ACN	I	适配器电流采样电阻负输入端
24	BST1	P	降压侧高端功率 MOSFET 栅极驱动器电源。
25	HD1	O	降压侧高端栅极驱动器
26	SW1	P	降压侧半桥开关节点
27	LD1	O	降压侧低端栅极驱动器
28	PGND	-	功率地
29	GVDD	P	为 7V 栅极驱动电源 LDO 输出端，当低于设定值，会跟随供电电压，供电电压为输入/输出电压中较大值。
30	LD2	O	升压侧低端栅极驱动器
31	SW2	P	升压侧半桥开关节点
32	HD2	O	升压侧高端栅极驱动器
33	Thermal PAD	-	AGND

PCB建议

组件	功能	影响	建议
Buck 高/低侧功率管, 输入电容	Buck 输入 回路	高频 噪声 纹波 效率	由于降压转换器输入端存在脉动电流, 此路径会形成一个高频开关环路。应将组件布置在电路板的同一侧, 同时尽量减小环路面积以降低寄生电感, 并尽可能增大走线宽度以减小寄生电阻。此外, 需将输入陶瓷电容靠近开关 FET 放置。
Boost 高/低侧功率管, 输出电容	Boost 输出 回路		由于升压转换器输出端的脉动电流, 此路径会形成一个高频开关环路。应将组件布置在电路板的同一侧, 尽量减小环路面积以降低寄生电感, 并尽可能增大走线宽度以减小寄生电阻。此外, 需将输出陶瓷电容靠近开关 FET 放置。
Sense resistors, switching FETs, inductor	电流 路径	效率	从输入到输出经过功率级和检测电阻的电流路径具有低阻抗特性。若过孔不在同一侧, 需注意过孔电阻。对于 1 oz.铜厚、10-mil 的过孔, 可按每个过孔 1~2A 的载流能力估算过孔数量。
Switching FETs, inductor	功率级	热量、 效率	开关功率管和电感是功率损耗最高的元件。需预留足够的铜箔面积用于散热, 可采用多个散热过孔将更多铜箔层连接起来, 以散发更多热量。
AVDD, BST1, BST2 capacitors	功率管 栅极驱动	高频 噪声、 寄生 振铃、 栅极驱 动完整 性	AVDD 电容用于为驱动低侧功率管提供电源, 而自举 (BST) 电容则用于驱动高侧功率管。建议将这些电容尽可能靠近芯片放置。
LD1, LD2	低侧 栅极驱动		LD1 和 LD2 为低侧功率管的开启提供栅极驱动电流。LD1 和 LD2 的回路为 PGND (功率地)。由于电流会选择阻抗最小的路径, 建议在低侧栅极驱动走线附近设置接地平面。同时应尽量缩短栅极驱动走线长度, 并确保栅极驱动走线宽度至少为 20-mil。
HD1, HD2, SW1 (pin trace), SW2 (pin trace)	高侧 栅极驱动		HD1 和 HD2 为高侧功率管的开启提供栅极驱动电流。HD1 和 HD2 的回路分别为 SW1 和 SW2。将 HD1/SW1 和 HD2/SW2 成对布线且彼此相邻, 以降低栅极驱动寄生电感。尽量缩短栅极驱动走线长度, 并确保栅极驱动走线宽度至少为 20-mil。
Current limit resistors, FREQ	IC 可编程 设置	调 节 精 度、开关 完整性	引脚电压决定了输入电流限制、输出电流限制和开关频率的设置。这些引脚上的接地噪声可能导致设置不准确。请尽量缩短这些电阻到芯片接地引脚的接地回路。
ACP, CAN and CSP, CSN current sense	电流调节	调节 精度	对输入和输出电流检测电阻使用开尔文检测技术。将电流检测走线连接至焊盘中心, 并将电流检测走线作为差分对布设, 使其远离开关节点。
FB1, FB2, VSEN	电压检测 和调节		避免在高功率开关节点附近布线。
Bypass capacitors	Noise filter	Noise immunity	将最小容值的电容放置在离芯片管脚最近的位置。

极限参数表¹

参数	描述	数值	单位
V _{MAX}	VIN、VBAT、BST1、BST2、ACP、ACN、CSP、CSN、COM、FB1、FB2、DIR、VSEN、NTC、STAT1、STAT2	-0.3~40	V
	DT, SDA, INT, SCL, EN, AVDD	-0.3~6	V
	LD1, LD2, GVDD	-0.3~12	V
	BST1, HD1 with respect to SW1	-0.3~12	V
	BST2, HD2 with respect to SW2	-0.3~12	V
T _J	结工作温度范围	-40~150	°C
T _{STG}	存储温度范围	-55~150	°C
T _{SDR}	引脚温度 (焊接10s)	260	°C

推荐工作环境

参数	描述	数值	单位
VIN	输入电源电压	5~32	V
T _J	结工作温度范围	-40~125	°C
T _A	环境温度范围	-40~85	°C

热效应信息²

参数	描述	数值	单位
θ _{JA}	封装热阻-芯片到环境热阻	52	°C/W

订购信息

产品型号	封装形式	器件标示	包装尺寸	卷带宽度	数量
CS5653D	QFN4X4_32L		13"	12mm	3000 units

ESD范围

HBM(人体静电模式) ----- ±2kV
 MM(机器静电模式) ----- ±200V

1. 上述参数仅仅是器件工作的极限值，不建议器件的工作条件超过此极限值，否则会对器件的可靠性及寿命产生影响，甚至造成永久性损坏。
2. PCB板放置CS5653D的地方，需要有散热设计。使得CS5653D底部的散热片和PCB板的散热区域相连，并通过过孔和地相连。

电气参数(VIN=12V, VBAT=8.4V, L=10uH, T_A=25°C, unless otherwise noted.)

参数	描述	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
VIN	工作电压	DIR=Low , as input voltage	3.8		32	V
		DIR=High , as output voltage	3		32	
VBAT	工作电压	DIR=Low , as output voltage	0		32	V
		DIR=High , as input voltage	3.8		32	
VIN _{UVLO}	VIN 端欠压保护阈值	DIR=Low , VIN Falling		3.6		V
ΔVIN _{UVLO}	VIN 端欠压保护滞回	DIR=Low		200		mV
VBAT _{UVLO}	VBAT 端欠压保护阈值	DIR=High , VBAT Falling		3.6		V
ΔVBAT _{UVLO}	VBAT 端欠压保护滞回	DIR=High		200		mV
I _q	芯片静态工作电流	EN=Low , DIR=Low, non-switching		2.8		mA
		EN=Low , DIR=High, non-switching		2.8		
I _{SD}	芯片关断电流	EN= High , DIR= Low		66		μA
		EN= High , DIR= High		8		
I _{BAT}	电池泄漏电流	不插充电器, EN=Low		8		μA
		插充电器, EN= High VIN>VBAT			1	
		插充电器, EN= High VIN<VBAT		9		
		插充电器, VIN>VBAT, EN=Low R _{FB2_1} =100KΩ, R _{FB2_2} =740KΩ		48		
		插充电器, VIN<VBAT, EN=Low R _{FB2_1} =100KΩ, R _{FB2_2} =740KΩ		2600		
VGDD	驱动电压			7		V
VAVD	芯片低压部分供电电压			5		V
V _{SEN}	VSEN 管脚调制电压		0.98	1	1.02	V
V _{FB1}	FB1 反馈电压调制阈值		0.99	1	1.01	V
V _{FB2}	FB2 反馈电压调制阈值		0.99	1	1.01	V

电气参数 (VIN=12V, VBAT=8.4V, L=10uH, TA=25°C, unless otherwise noted.)

参数	描述	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
V _{CV}	充电浮充电压 (常温)	$K=1+R_{B1}/R_{B2}$		$K \cdot V_{FB}$		V
V _{CV-HOT}	充电浮充电压 (高温)	$V_{NTC} < V_{warm} \& JEITA$		0.975V _{CV}		V
V _{RCH}	重充电压阈值 (默认)	V _{BAT} Falling		0.975V _{CV}		V
V _{TRK}	涓流转恒流电压阈值	V _{BAT} Rising		0.667V _{CV}		V
V _{SHORT}	电池短路电压阈值	V _{BAT} Falling		0.25V _{CV}		V
V _{OVPB}	BAT 端过压保护电压	V _{BAT} Rising		1.07V _{CV}		V
V _{SENSE}	输入输出最大电流检测电压			50		mV
I _{LIMIT}	输入限制电流	R _{S1} =10mΩ	4.5	5	5.5	A
I _{CC}	恒流模式充电电流 (默认值)	R _{S2} =10mΩ	4.5	5	5.5	A
I _{TC}	涓流模式充电电流 (默认值)			10%		I _{CC}
I _{BF}	充电终止电流 (默认值)			10%		I _{CC}
F _{SW}	系统工作频率			400		KHz
DT	死区时间	R _{DT} =0Ω		30		ns
		R _{DT} =27KΩ		60		
		R _{DT} =47KΩ		90		
		R _{DT} =75KΩ		120		
		R _{DT} =110KΩ		150		
		R _{DT} = Float		180		
V _{IH}	EN/DIR 高电平阈值		1.5			V
V _{IL}	EN/DIR 低电平阈值				0.4	V

电气参数(VIN=12V, VBAT=8.4V, L=10uH, T_A=25°C, unless otherwise noted.)

参数	描述	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
R _{DS_HS_P}	上管驱动 PMOS 管导通电阻			3		Ω
R _{DS_HS_N}	上管驱动 NMOS 管导通电阻			1		Ω
R _{DS_LS_P}	下管驱动 PMOS 管导通电阻			3		Ω
R _{DS_LS_N}	下管驱动 NMOS 管导通电阻			1		Ω
V _{cold}	NTC 端低温保护阈值	V _{AVDD} 的百分比		70		%
V _{cold_hys}	NTC 端低温保护迟滞	V _{AVDD} 的百分比		0.83		%
V _{hot}	NTC 端高温调节阈值	V _{AVDD} 的百分比		47.5		%
V _{hot_hys}	NTC 端高温调节迟滞	V _{AVDD} 的百分比		1.67		%
V _{cool}	NTC 端低温电流减半阈值	V _{AVDD} 的百分比		67.5		%
V _{warm}	NTC 端高温浮充降低阈值	V _{AVDD} 的百分比		55		%
V _{SCL/SDA_H}	SCL/SDA 端高电平阈值		2.5			V
V _{SCL/SDA_L}	SCL/SDA 端低电平阈值				0.4	V
TMR _{TC}	TC 阶段充电时间限制 (默认)			2.5		Hour
TMR _{CC/CV}	CC/CV 阶段充电时间限制(默认)			24		Hour
T _{SD}	芯片热保护温度			150		°C
ΔT	芯片热保护温度滞回			30		°C

CS5653D应用要点

1. 充放电模式选择

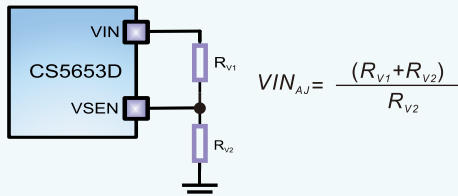
芯片的DIR管脚设置芯片的工作方向，该管脚内置370K左右的下拉电阻，低电平或浮空为充电状态，高电平为反向放电状态。

当DIR设置为正向充电模式时，CS5653D具有完整的TC/CC/CV充电过程。当电池的电压小于涓流点时，系统以涓流 I_{TC} 充电电流充电；当电池的电压大于涓流点时，系统以恒流 I_{CC} 充电电流充电；当电池电压接近所设定的浮充电电压时，系统进入恒压充电，充电电流持续减少，当充电电流小于 I_{BF} 时，系统会停止充电；当电池充满电后，由于自身放电或者负载耗电导致电池电压跌落至设定的重充电压时，系统会重新恢复充电状态。

2. 输入电流自适应功能（太阳能板MPPT功能）

CS5653D内置特殊的环路可以自动调节充电电流的大小，避免输入的直流电源进入过驱动状态，从而防止任何不当设置导致的拉垮适配器现象。因为大的充电电流会导致输入电源电压的下降，随着电源电压的下降，内部自适应环路运放的输入端也随之下降。当降低到内部基准值时，内置的自适应环路就会自动调节系统占空比，减小充电电流大小以及输入电源的驱动压力，从而使芯片管脚的输入电压被固定在设定值 V_{MPPT} 。

在太阳能板的伏安特性曲线中，当环境温度一定时，在不同的日照强度下，输出最大功率点所对应的输出电压基本相同，亦即只要保持太阳能板的输出端电压为恒定电压，就可以保证在该温度下光照强度不同时，太阳能板输出最大功率。根据上述原理，利用输入自适应功能，让芯片利用太阳能板做为输入，根据不同的太阳能板特性，采用恒电压法跟踪太阳能板的最大功率点 V_{MPPT} ，从而最大限度利用太阳能板的输出功率。通过选择 R_{V1} 、 R_{V2} 两个电阻，芯片管脚输入电压能被降低到的最低值 V_{MPPT} 的计算公式如下：



该管脚若接VIN或者AVDD，则禁用此功能。该功能仅在充电模式下有效。通过 I^2C ，可以选择外部电阻设置 V_{MPPT} ，也可以选择内置的 V_{MPPT} 值。

3. 保护功能

CS5653D具有完善的电池充电保护功能。

- 当芯片出现输入端欠压，电池端过压或芯片过温时，充电会被禁止一直到保护状态解除。同时在输入电压低于欠压保护阈值时，芯片主要功能模块会全部关闭以避免系统由于电源电压过低而误动作；
- 当电池短路时即电池电压低于 V_{SHORT} 时，电池短路保护功能启动，仅表现为STAT1、STAT2对应的双灯以3Hz左右的频率交替闪烁示警；
- 系统具有充电超时保护功能。当涓流阶段充电时间大于 TMR_{TC} 或者恒流及恒压阶段充电时间大于 $TMR_{CC/CV}$ 时，充电超时保护功能会启动，强行停止充电。只有当系统重新上电、电池电压涓流阶段变成恒流阶段、电池电压恒流阶段变成涓流阶段、EN复位重启、电池电压从充满状态回到重充电压以下时、计时器才会清零重新计时并恢复充电。

4. 充电状态指示功能

芯片的STAT1，STAT2脚为状态指示脚，为开漏输出结构，输出0电平或者高阻态。如果不接LED灯，而是直接与主控相连，须有一个上拉电阻把高阻态转化成确切的高电平。

(1) 充电过程：

STAT2端口输出高阻态，LED灯熄灭；
STAT1端口输出低电平，LED灯常亮。

(2) 充电完毕：

STAT2端口输出低电平，LED灯常亮；
STAT1端口输出高阻态，LED灯熄灭。

(3) 在电池过压、电池短路、NTC端口检测到电池温度异常、芯片过温、充电超时情况下，两个状态端口LED灯以3Hz左右的频率交替闪烁。

(4) 在输入端欠压或芯片处于非使能模式情况下，两个端口输出高阻态，LED灯全熄灭。

(5) 系统上电后如果检测到无电池，则两个LED灯交替闪烁若干次后变为充电完毕状态（STAT2端口灯常亮）。当再次接入电池时，保持充电完毕状态大约5s后，变为当前对应的充电状态。此无电池的闪烁方式可以通过 I^2C 进行选择不同的模式（A.两灯一直交替闪烁；B.交替闪烁后STAT1灯亮，STAT2灯熄；C.交替闪烁后STAT2灯亮，STAT1灯熄；D.交替闪烁后STAT1和STAT2灯同时熄。默认选C）。

5. 充电电流设定

CS5653D可以通过 R_{S1} 和 R_{S2} 两个电阻分别设置适配器端（VIN端）和电池端（VBAT端）的电流限制。

VBAT端电流限制（恒流充电电流）可以通过电阻 R_{S2} 设定。恒流充电时，CSP和CSN两端电压差默认被环路调制在50mV（即公式里VICC默认值为50mV），具体计算公式如下：

$$I_{CC} = \frac{VICC(mV)}{R_{S2}(m\Omega)} = \frac{50mV}{R_{S2}(m\Omega)} (A)$$

如果需要获得2A的充电电流 I_{CC} ，只需要选择阻值为25mΩ的检测电阻 R_{S2} 即可。

VIN端的限流值可以通过电阻 R_{S1} 设定。充电时ACP和ACN两端电压差默认被环路调制在50mV（即公式里VILIM_VIN默认值为50mV），具体计算公式如下：

$$I_{IN_ILIM} = \frac{VILIM_VIN(mV)}{R_{S1}(m\Omega)} = \frac{50mV}{R_{S1}(m\Omega)} (A)$$

在充电模式下，若同时设置了VIN（总线电压）和VBAT（电池电压）的电流限制，当VIN和VBAT电流中的任意一路达到其电流限值时，芯片将立即控制充电电流。例如，若适配器侧（VIN）电流首先达到其电流限值设定值（如2A），则适配器侧电流将被调节至2A；而若电池侧（VBAT）电流限值首先达到其设定值（如4A），则电池侧电流将被调节至4A，此时适配器侧电流可能低于VIN电流限值设定值。

涓流TC阶段的充电电流 I_{TC} 默认值由以下公式确定：

$$I_{TC} = 10\%I_{CC} = \frac{V_{ITC}(mV)}{R_{S2}(m\Omega)} = \frac{5mV}{R_{S2}(m\Omega)} (A)$$

该值可以通过I²C进行调节，调节范围为25%* I_{TC} ~4* I_{TC} 。

R_{S2} 所设定的限流值在充放电模式下均起作用：充电模式下为充电电流，放电模式下为最大放电电流。

注意， R_{S1} 和 R_{S2} 会流过所设定的对应的电流值，因此需要选取足够额定功率的电阻。特别注意，芯片及外围元器件长时间工作在高压大电流情况下，必须优化加强其散热。

6. 使能控制 (EN)

EN为芯片的使能引脚，内置370K左右下拉电阻，该端口接地或者浮空可以使芯片使能；若要关断芯片，则将该管脚接高电平即可。

7. 死区时间设置 (DT)

通过DT管脚到地电阻可以设置六档不同的死区时间。具体设置如下：

R_{DT}	Dead Time
0Ω or Grounding	30ns
27KΩ	60ns
47KΩ	90ns
75KΩ	120ns
110KΩ	150ns
Float	180ns

DT引脚处电阻的精度允许为±10%。DT不支持实时更改，新的电阻值更改将在下次启动时生效。

当驱动具有高 C_{ISS} 值的大功率MOSFET时，或者在LD1/LD2或HD1/HD2引脚处，添加驱动电阻以调整MOSFET的开关时间时，建议检查并调整死区时间，以防止对应的大功率MOSFET发生直通。

8. 环路补偿 (COMP)

反馈环路可通过调整连接至COMP引脚的外部RC元件进行补偿。通常情况下， $R_{COMP}=15K\Omega$ ， $C_{COMP}=15nF$ ，在大多数应用中已足够，无需更改。

9. 充电终止电流设置

CS5653D的充电终止电流 I_{BF} 默认值由以下公式确定：

$$I_{BF} = 10\%I_{CC} = \frac{V_{IBF}(mV)}{R_{S2}(m\Omega)} = \frac{5mV}{R_{S2}(m\Omega)} (A)$$

该值可以通过I²C进行调节，调节范围为25%* I_{BF} ~4* I_{BF} 。如果芯片检测到充电电流降低到 I_{BF} ，则停止充电。该充电终止功能是否开启，可通过I²C进行选择，默认是开启此功能。

10. 电池浮充电电压（截止电压）设定

芯片FB2管脚对应的内部钳位电压阈值为1V，根据该电压和外部两个分压电阻 R_{FB2_1} 和 R_{FB2_2} ，即可设定电池充电的浮充电电压值，具体公式如下所示：

$$V_{CV} = \frac{(R_{FB2_1} + R_{FB2_2})}{R_{FB2_1}}$$

当然也可通过I²C选择内置的截止电压，从而屏蔽外部 R_{FB2_1} 和 R_{FB2_2} 所设定的值。

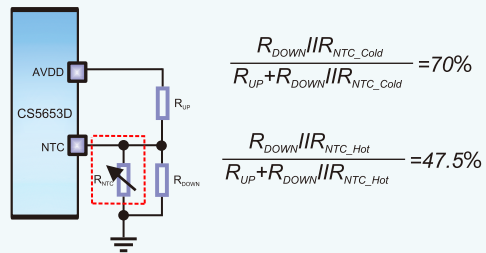
选择如果芯片开启JEITA充电规范，那么当NTC端口电压 $V_{NTC} < V_{warm}$ 时，浮充电压为 $V_{CV-HOT} = 97.5\% * V_{CV}$ 。

11. NTC电阻设定

电池充电支持NTC保护功能，通过NTC引脚检测电池温度的高低。当NTC检测到电池温度在所设定的温度窗口区间之内时正常充电；当NTC检测到电池温度低于所设定的低温保护点或者高于所设定的高温保护点时，则停止充电并报警。

如不用NTC功能，必须将该引脚接地。

下图为内部通过分压电阻分别设定的高温参考点和低温参考点，其中低温参考点为 $V_{AVDD} * 70\%$ ，高温参考点为 $V_{AVDD} * 47.5\%$ 。通过选择合适的外部电阻来设定NTC的正常工作的温度范围。



上面式中 R_{NTC_Cold} 为NTC电阻在设定的低温点所对应的阻值，而 R_{NTC_Hot} 为NTC电阻在设定的高温点所对应的阻值。由于 R_{DOWN} 和 R_{UP} 这两个电阻可以分别独立设定低温和高温窗口，使得芯片可以满足大部分NTC电阻型号，这为应用带来了极大的便利。电阻 R_{DOWN} 和 R_{UP} 与NTC电阻之间的关系可以通过上述定义给出下列公式：

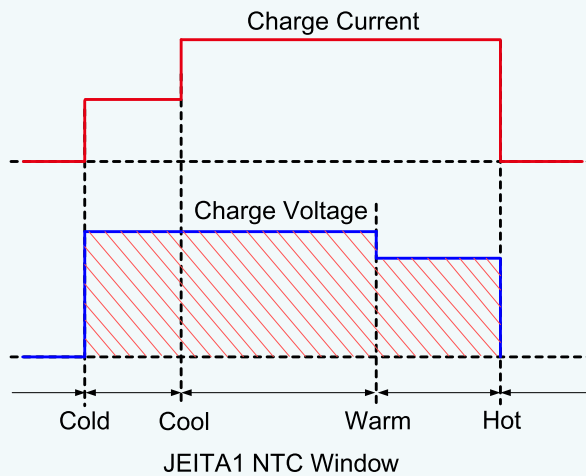
$$R_{UP} = \frac{90 * R_{NTC_Hot} * R_{NTC_Cold}}{133 * (R_{NTC_Cold} - R_{NTC_Hot})}$$

$$R_{DOWN} = \frac{30 * R_{NTC_Hot} * R_{NTC_Cold}}{19 * R_{NTC_Cold} - 49 * R_{NTC_Hot}}$$

芯片NTC功能默认没有开启JEITA充电规范。如果通过I²C开启JEITA充电规范，则有两种JEITA可供选择：

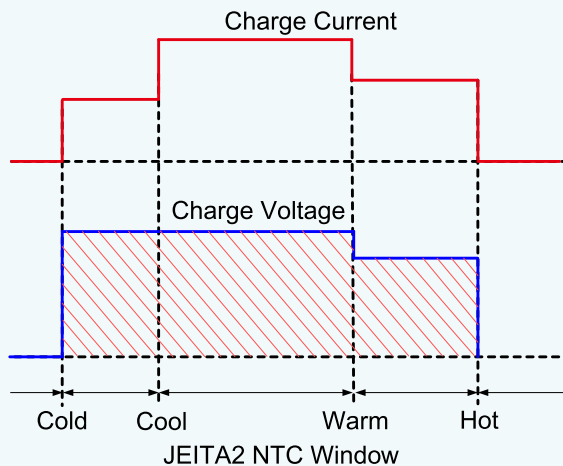
(1) JEITA1：

- $V_{NTC} > V_{cool}$ 时，恒流充电电流为50%* I_{CC} ；
- $V_{NTC} < V_{warm}$ 时，浮充电压为 V_{CV-HOT} ；



(2) JEITA2:

- $V_{NTC} > V_{cool}$ 时, 恒流充电电流为 $50\% \cdot I_{CC}$;
- $V_{NTC} < V_{warm}$ 时, 浮充电压为 V_{CV-HOT} , 并且恒流充电电流为 $60\% \cdot I_{CC}$;



12. 反向放电模式下VIN放电电压设置

当DIR管脚为高电平时为反向放电状态, 在此模式下, 由电池 (VBAT端) 向适配器/USB接口 (VIN端) 放电, VIN为放电输出端。VIN放电电压通过分压电阻反馈至FB1管脚, 可通过分压电阻设定VIN输出电压值, 芯片FB1管脚对应的内部钳位电压阈值为1V, 根据该电压和外部两个分压电阻 R_{FB1_1} 和 R_{FB1_2} , 具体公式为

$$VIN = \frac{(R_{FB1_1} + R_{FB1_2})}{R_{FB1_1}}$$

当然也可通过I²C选择内置的反向放电电压, 从而屏蔽外部 R_{FB1_1} 和 R_{FB1_2} 所设定的值。

13. 放电电流设置

放电模式下, VIN端和VBAT端最大放电电流仍然通过 R_{S1} 和 R_{S2} 进行检测, 两侧最先达到的值为最终最大放电电流值。

14. 输入输出电容的选择

CS5653D的开关频率在200KHz~600KHz范围内。由于MLCC陶瓷电容器具有良好的高频滤波性能且等效串联电阻 (ESR) 较低, 建议使用容量大于60μF的X5R或X7R电容, 其额定电压需高于工作电压并留有裕量。例如, 若最高工作输入/输出电压为12V, 为确保足够裕量, 建议选用25V额定电压的电容。

为实现稳定的输入和输出, 可使用高电容值的电解电容器和钽电容, 但电容的额定电压应高于最高工作电压。使用钽电容器时, 需并联至少1μF的陶瓷电容。若使用电解电容器, 则需要更多陶瓷电容。例如, 若使用47μF的电解电容, 陶瓷电容的容量可减少至30μF~40μF。即使使用更高电容值的电解电容, 也至少需要20μF的陶瓷电容器。

15. 电感的选择

为确保CS5653D系统的稳定性, 需要使用电感值为10μH的电感。电感的直流电阻值 (DCR) 会影响开关稳压器的传导损耗, 因此建议优先选择DCR在10mΩ左右的电感。若功率较小, 可选择DCR较高的电感; 但如果开关电流较大 (如10A左右), 则应尽可能选择DCR最低的电感, 因为10mΩ的DCR也会产生1W的功率损耗。电感的饱和电流 I_{SAT} 应高于输入输出电流, 并留有足够裕量。

16. 电流采样电阻

R_{S1} 和 R_{S2} 为电流检测电阻, 建议电阻值为5mΩ~20mΩ。在大电流应用中使用阻值较高的电阻会导致更高的传导损耗。通常建议使用10mΩ的电阻。

还应考虑电阻的额定功率和温度系数。功耗大致按 $P = I^2 R$ 计算, 其中I为流过电阻的最大电流。电阻的额定功率应高于该大致计算的功耗值。

当温度升高时, 电阻值可能会发生变化, 其变化量由温度系数和温度变化共同决定。如果需要高精度的电流限制, 应尽可能选择温度系数较低的电阻。

17. MOSFET的选择

CS5653D是一款同步4管升降压充电控制器, 其功率开关电路需要4个NMOS管。

MOSFET的漏源极耐压 (VDS) 应高于最高工作电压并留有足够裕量 (建议高出10V以上)。例如, 若最高工作电压为20V, 至少应选择额定VDS为30V的MOSFET; 若最高工作电压为24V, 则应选择40V的VDS额定电压。

考虑到工作时PCB的寄生参数, 由于瞬态过冲, 驱动电压可能高于电源电压, 建议选择±20V的VGS额定值以确保足够裕量。

MOSFET的电流 (I_D) 应高于最高输入和输出电流并留有足够裕量。为确保在较高温度环境下具备足够的电流能力, 应考虑 $T_A = 70^\circ\text{C}$ 或 $T_C = 100^\circ\text{C}$ 时的电流额定值。此外, 还需考虑功耗值 (P_D), 应用中 P_D 越高越好, 且必须确保MOSFET的功耗不超过 P_D 值。

MOSFET的导通电阻 ($R_{DS(ON)}$) 和输入电容 (C_{ISS}) 直接影响功率效率。通常, $R_{DS(ON)}$ 较低 MOSFET 具有较高的 C_{ISS} 。 $R_{DS(ON)}$ 与传导损耗相关, $R_{DS(ON)}$ 越高, 传导损耗越大, 效率越低且散热需求越高; C_{ISS} 与 MOSFET 的开关时间相关, 开关时间越长, 开关损耗越大, 效率越低。应根据 $R_{DS(ON)}$ 和 C_{ISS} 的权衡选择合适的 MOSFET。

通常, 若输出功率在 20W ~ 30W 左右, 建议选择 $R_{DS(ON)}$ 约 10m Ω 且 C_{ISS} 低于 1000pF 的 MOSFET。若输出功率增加, 建议选择 $R_{DS(ON)}$ 更低且 C_{ISS} 低于 2000pF 的 MOSFET, C_{ISS} 最高建议不超过 3000pF。

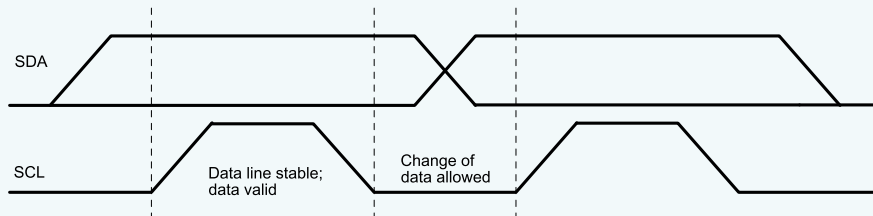
若选择高 C_{ISS} 的 MOSFET, 开关时间会变长, 此时应通过 DT 引脚调整死区时间, 避免上下管同时导通。

18. 驱动电阻和 SW1/SW2 吸收电路

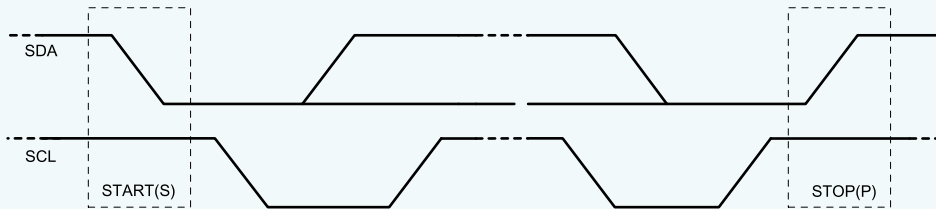
为了在 EMI 调试时方便调整 MOSFET 的开关时间和瞬态过冲, 建议在驱动引脚 (LD1、LD2、HD1、HD2) 与 MOSFET 栅极引脚之间添加 0603 系列电阻, 并在 SW1 和 SW2 处添加对地的 RC 吸收电路。

驱动电阻应靠近 MOSFET 栅极引脚放置。首先添加 0 Ω 电阻, 并在 10 Ω 范围内适当调整电阻值。增加驱动电阻值后, 需监控上下管的导通时间。如果死区时间不足, 需相应调整死区时间。

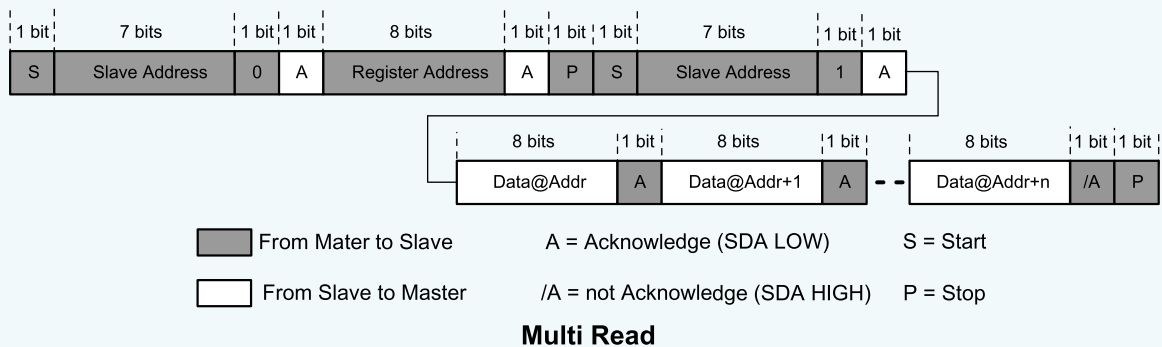
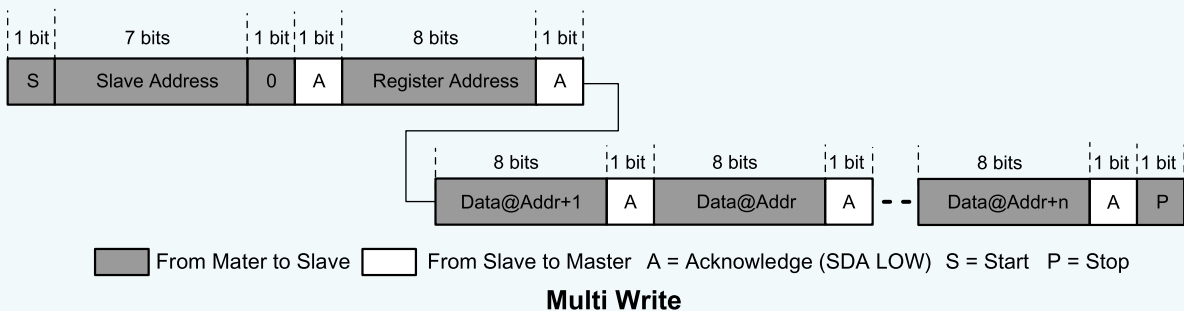
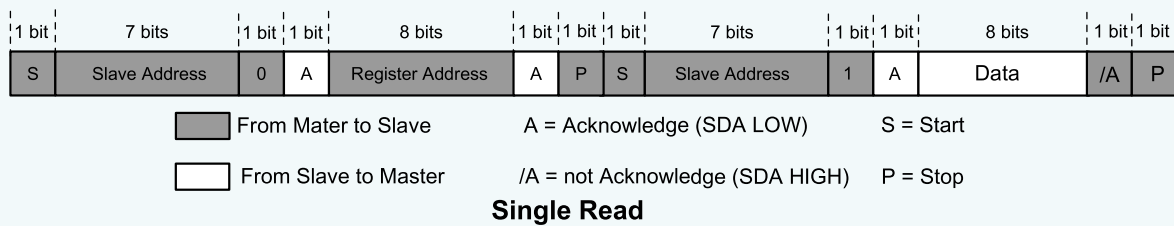
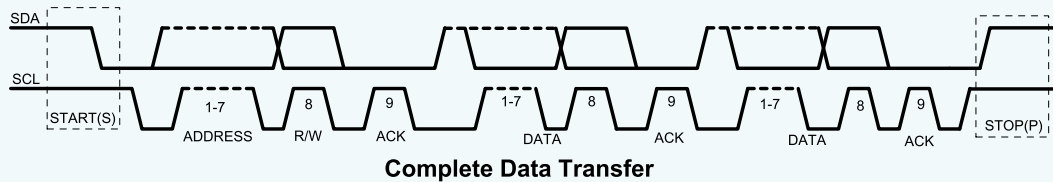
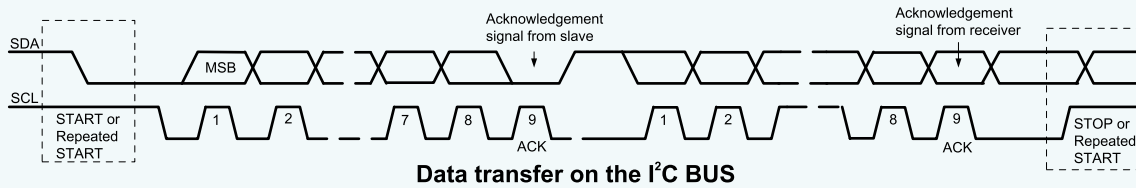
当需要抑制 SW1/SW2 处的过冲时, 需使用 RC 吸收电路。首次使用时, RC 吸收电路先设为 NC (未连接)。



Bit Transfer on the I²C Bus



START and STOP Conditions



I²C Register MAP

IC Address : 0x4C

Register Name	Address	R/W	Comment	Default
REG[0]	0x00	R	系统状态指示 (有 INT)	0000_0000
REG[1]	0x01	R		0000_0000
REG[2]	0x02	R	系统状态指示 (无 INT)	0000_0000
REG[3]	0x03	R	充电电流 ADC 输出低 8 位	0000_0000
REG[4]	0x04	R	充电电流 ADC 输出高 2 位和电池电压 ADC 输出低 6 位	0000_0000
REG[5]	0x05	R	电池电压 ADC 输出高 4 位和输入电流 ADC 输出低 4 位	0000_0000
REG[6]	0x06	R	输入电流 ADC 输出高 6 位和输入电压 ADC 输出低 2 位	0000_0000
REG[7]	0x07	R	输入电压 ADC 输出高 8 位	0000_0000
REG[8]	0x08	R/W	充电终止电流设置, 涓流充电电流设置	0011_0011
REG[9]	0x09	R/W	CV 电压设置, VTC 涓流转恒流电压设置	0111_1011
REG[A]	0x0A	R/W	VSEN 内/外选择, 电池浮充电压内/外选择, 电池节数选择, NTC 功能设置	0000_0000
REG[B]	0x0B	R/W	VSEN 电压高 8 位/放电输出电压高 8 位设置	0110_0100
REG[C]	0x0C	R/W	VSEN 电压低 3 位/放电输出电压低 3 位设置, 反向输出电压内/外选择, 无电池 LED 状态设置, STAT2 功能和抖频使能选择	0100_0000
REG[D]	0x0D	R/W	ICC 充电电流设置, 充电使能设置	0101_1010
REG[E]	0x0E	R/W	充电截止使能, ILIMIT 输入限制电流设置	0101_1010
REG[F]	0x0F	R/W	充电超时使能和充电超时时间设置, 重充电压选择	0000_0011

Reg[0]:(Address: 0x00, Default: 0000_0000)

Bit	Name	INT	R/W	Comment
7		Yes	R	Reserved
6		Yes	R	Reserved
5	ASYNH	Yes	R	小电流异步
4	TIMEOUTH	Yes	R	系统充电超时
3	OTPH	Yes	R	系统过温保护
2		Yes	R	Reserved
1	VINOVPH	Yes	R	输入过压
0	VINUVLOH	Yes	R	输入欠压

Reg[1]:(Address: 0x01, Default: 0000_0000)

Bit	Name	INT	R/W	Comment
7		Yes	R	Reserved
6		Yes	R	Reserved
5		Yes	R	Reserved
4	BOVPH	Yes	R	电池过压
3	BFH	Yes	R	电池充饱状态
2	RECHARH	Yes	R	电池重充状态
1	TRICKH	Yes	R	电池涓流状态
0	BSCPH	Yes	R	电池短路状态

Reg[2]:(Address: 0x02, Default: 0000_0000)

Bit	Name	INT	R/W	Comment
7	CCH	No	R	电池恒流充电状态
6	BSTOKH	No	R	系统 BST 电压正常与否指示
5	VOH_H	No	R	输出高于输入指示
4	ILIMH	No	R	输入电流限制环路工作
3		No	R	Reserved
2	VDROPH	No	R	系统输入自适应环路工作
1	ILOOPH	No	R	系统电流环路工作
0	VLOOPH	No	R	系统电压环路工作

Reg[3]:(Address: 0x03, Default: 0000_0000)

Bit	Name	INT	R/W	Comment
7	IBATDT[7]	No	R	充电电流 ADC 检测低 8 位：高2位见Reg[4]设置 Range : 0~50mV Step : 50mV/1024
6	IBATDT[6]	No	R	
5	IBATDT[5]	No	R	
4	IBATDT[4]	No	R	
3	IBATDT[3]	No	R	
2	IBATDT[2]	No	R	
1	IBATDT[1]	No	R	
0	IBATDT[0]	No	R	



Reg[4]:(Address: 0x04, Default: 0000_0000)

Bit	Name	INT	R/W	Comment
7	VBATDT[5]	No	R	电池电压 ADC 检测低 6 位,高4位见Reg[5]设置 Range : 0~60V Step : 60V /1024
6	VBATDT[4]	No	R	
5	VBATDT[3]	No	R	
4	VBATDT[2]	No	R	
3	VBATDT[1]	No	R	
2	VBATDT[0]	No	R	
1	IBATDT[9]	No	R	充电电流 ADC 检测高 2 位, 低8位见Reg[3]设置
0	IBATDT[8]	No	R	

Reg[5]:(Address: 0x05, Default: 0000_0000)

Bit	Name	INT	R/W	Comment
7	IINDT [3]	No	R	输入电流 ADC 检测低 4 位,高6位见Reg[6]设置
6	IINDT [2]	No	R	
5	IINDT [1]	No	R	
4	IINDT[0]	No	R	
3	VBATDT[9]	No	R	电池电压 ADC 检测高 4 位,低6位见Reg[4]设置
2	VBATDT[8]	No	R	
1	VBATDT[7]	No	R	
0	VBATDT[6]	No	R	

Reg[6]:(Address: 0x06, Default: 0000_0000)

Bit	Name	INT	R/W	Comment
7	VINDT [1]	No	R	输入电压 ADC 检测低 2 位, 高8位见Reg[7]设置
6	VINDT [0]	No	R	
5	IINDT [9]	No	R	输入电流 ADC 检测高 6 位, 低4位见Reg[5]设置 Range : 0~50mV Step : 50mV /1024
4	IINDT[8]	No	R	
3	IINDT[7]	No	R	
2	IINDT[6]	No	R	
1	IINDT[5]	No	R	
0	IINDT[4]	No	R	

Reg[7]:(Address: 0x07, Default: 0000_0000)

Bit	Name	INT	R/W	Comment
7	VINDT [9]	No	R	输入电压 ADC 检测高 8 位, 低2位见 Reg[6]设置 Range : 0~60V Step : 60V /1024
6	VINDT [8]	No	R	
5	VINDT [7]	No	R	
4	VINDT [6]	No	R	
3	VINDT [5]	No	R	
2	VINDT [4]	No	R	
1	VINDT [3]	No	R	
0	VINDT [2]	No	R	

Reg[8]:(Address: 0x08, Default: 0011_0011)

Bit	Name	Default	R/W	Description	Comment
7	VIBF[3]	0	R/W	10.0mV	充电终止电流基准电压(VIBF)调节: Offset: 1.25mV(0000) Step: 1.25mV Range: 1.25mV~20mV Default: 5mV(0011) $IBF = VIBF/R_{S2}$
6	VIBF[2]	0	R/W	5.0mV	
5	VIBF[1]	1	R/W	2.5mV	
4	VIBF[0]	1	R/W	1.25mV	
3	VITC[3]	0	R/W	10.0mV	涓流充电电流基准电压 (VITC) 调节: Offset: 1.25mV(0000) Step: 1.25mV Range: 1.25mV~20mV Default: 5mV(0011) $ITC = VITC/R_{S2}$
2	VITC[2]	0	R/W	5.0mV	
1	VITC[1]	1	R/W	2.5mV	
0	VITC[0]	1	R/W	1.25mV	

Reg[9]:(Address: 0x09, Default: 0001_1011)

Bit	Name	Default	R/W	Description	Comment
7	VTC[2]	0	R/W	10%*VCV	涓流转恒流电压点选择: Offset : 59.5%(000) Step : 2.4% Range : (59.5%~76.3%)*VCV Default : 66.7%*VCV (011)
6	VTC[1]	1	R/W	5%*VCV	
5	VTC[0]	1	R/W	2.5%*VCV	
4	VCV[4]	1	R/W	800mV	CV 电压调节(For 1 Cell) : Offset: 2.65V(00000) Step: 50mV Range: 2.65V~3V(00000~00111) 3.25V~4.4V(01000~11111) Default: 4.2V(11011)
3	VCV[3]	1	R/W	400mV	
2	VCV[2]	0	R/W	200mV	
1	VCV[1]	1	R/W	100mV	
0	VCV[0]	1	R/W	50mV	

Reg[A]:(Address: 0x0A,Default: 0000_0000)

Bit	Name	Default	R/W	Description	Comment
7	VSENC	0	R/W		VSEN 电压控制内/外选择: 0 : 外部设置(Default) 1: 内部调节
6	NTC[1]	0	R/W		NTC 功能选择: 00: No JEITA(Default) 01: JEITA1
5	NTC[0]	0	R/W		10: JEITA2 11: No NTC
4	FB2CT	0	R/W		电池电压内/外选择: 0 : 外部设置(Default) 1: I ² C 内部调节
3	CELL[3]	0	R/W		电池节数选择: 0000 : 1 节(Default)
2	CELL[2]	0	R/W		0001 : 2 节 *****
1	CELL[1]	0	R/W		0101 : 6 节
0	CELL[0]	0	R/W		0110 : 7 节 0111 : 8 节

Reg[B]:(Address: 0x0B, Default: 0110_0100)

Bit	Name	Default	R/W	Description	Comment
7	VSEN/VIN[10]	0	R/W		输入自适应点 VSEN/反向放电输出电压 VIN 选择: Offset : 3V(0000000000) Default : 19V(01100100000) Max : 32.02V(10011010101) 1 : VSEN/VIN[10]=0 Step : 20mV Range : 3V-23.46V 2 : VSEN/VIN[10]=1 Step : 40mV Range : 23.5V-32.02V
6	VSEN/VIN[9]	1	R/W		
5	VSEN/VIN[8]	1	R/W		
4	VSEN/VIN[7]	0	R/W		
3	VSEN/VIN[6]	0	R/W		
2	VSEN/VIN[5]	1	R/W		
1	VSEN/VIN[4]	0	R/W		
0	VSEN/VIN[3]	0	R/W		

Reg[C]:(Address: 0x0C, Default: 0100_0000)

Bit	Name	Default	R/W	Description	Comment
7	STAT2CT	0	R/W		STAT2 指示选择: 0 : 与 STAT1 指示互补(Default) 1: Power Good 指示
6	STAT1[1]	1	R/W		无电池 LED 状态: 00: 闪烁后两灯长灭 01: 闪烁后 STAT1 灯长亮 10: 闪烁后 STAT2 灯长亮 (Default) 11: 两灯一直闪烁
5	STAT1[0]	0	R/W		
4	JITTER	0	R/W		抖频使能选择: 0: 抖频关闭(Default) 1: 抖频开启
3	FB1CT	0	R/W		反向输出电压 FB1 内外置设定选择: 0 : 选择外置(Default) 1: I ² C 内部调节
2	VSEN/VIN[2]	0	R/W		见 Reg[B]设置
1	VSEN/VIN[1]	0	R/W		
0	VSEN/VIN[0]	0	R/W		

Reg[D]:(Address: 0x0D, Default: 0101_1010)

Bit	Name	Default	R/W	Description	Comment
7	CHGEN	0	R/W		充电使能选择: 0: 充电使能(Default) 1: 充电关闭
6	VICC[6]	1	R/W	32mV	恒流充电电流电池端基准选择: Offset : 5mV(0000000) Step : 0.5mV Range : 5mV-55mV Default : 50mV ICC=VICC/R _{S2}
5	VICC[5]	0	R/W	16mV	
4	VICC[4]	1	R/W	8mV	
3	VICC[3]	1	R/W	4mV	
2	VICC[2]	0	R/W	2mV	
1	VICC[1]	1	R/W	1mV	
0	VICC[0]	0	R/W	0.5mV	

Reg[E]:(Address: 0x0E, Default: 0101_1010)

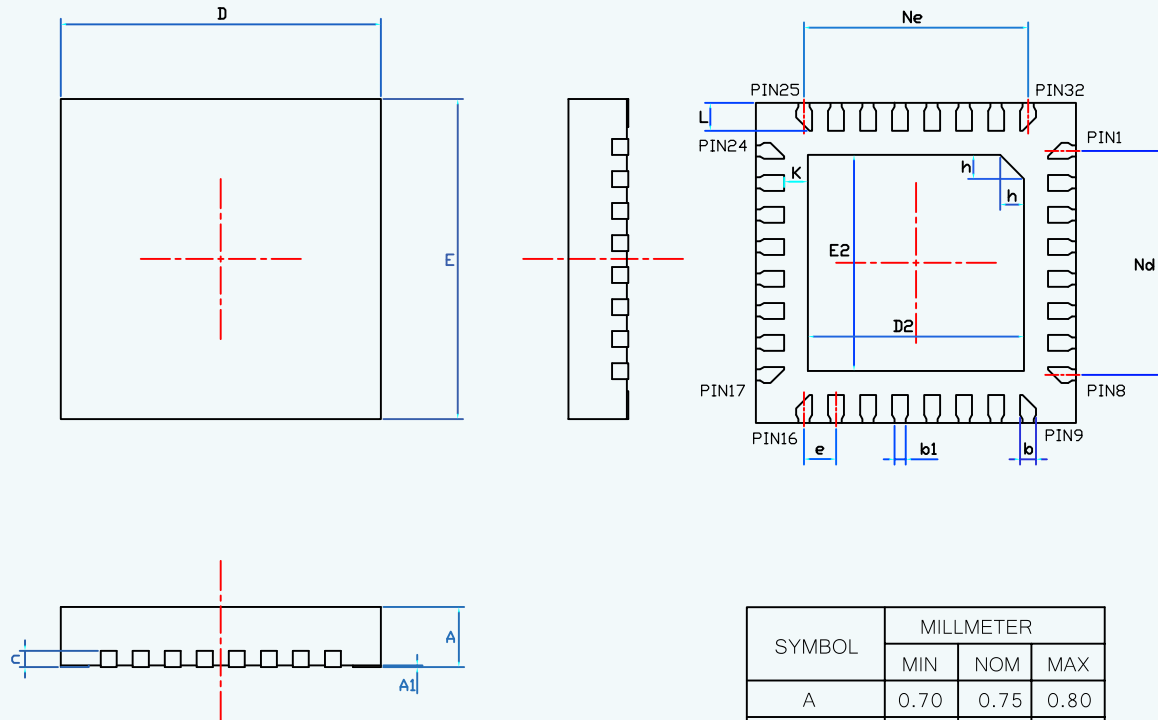
Bit	Name	Default	R/W	Description	Comment
7	TDH	0	R/W		充电终止功能选择: 0: 充电终止功能使能(Default) 1: 充电终止功能关闭
6	VILMT[6]	1	R/W	32mV	输入电流限制基准选择: Offset : 5mV(0000000) Step : 0.5mV Range : 5mV-55mV Default : 50mV $I_{IN_ILMT}=VILM_VIN/R_{S1}$
5	VILMT[5]	0	R/W	16mV	
4	VILMT[4]	1	R/W	8mV	
3	VILMT[3]	1	R/W	4mV	
2	VILMT[2]	0	R/W	2mV	
1	VILMT[1]	1	R/W	1mV	
0	VILMT[0]	0	R/W	0.5mV	

Reg[F]:(Address: 0x0F, Default: 0000_0011)

Bit	Name	Default	R/W	Description	Comment
7		0	R/W		Reserved
6			R/W		Reserved
5		0	R/W		Reserved
4		0	R/W		Reserved
3	RECHA100	0	R/W		重充电电压选择: 0: 97.5%*V _{CV} (Default) 1: 95%*V _{CV}
2	TIMOUTCT	0	R/W		充电超时使能选择: 0: 充电超时关闭 (Default) 1: 充电超时使能
1	TIMOUT[1]	1	R/W		充电超时时间选择 TC/(CC+CV) : 00: 0.74H/6.06H 01: 1.44H/12.16H 10: 1.8H/17.8H 11: 2.5H/24H(Default)
0	TIMOUT[0]	1	R/W		

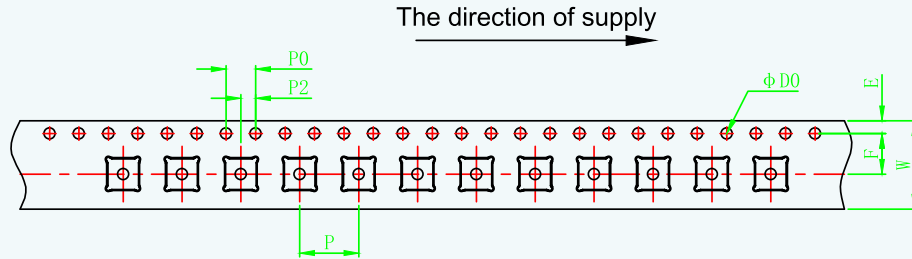
封装信息

CS5653D QFN4X4_32L PACKAGE OUTLINE DIMENSIONS (units:mm)

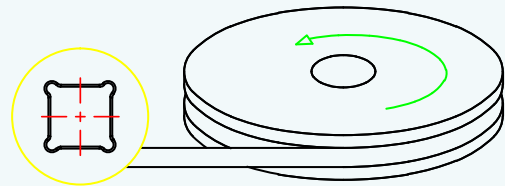
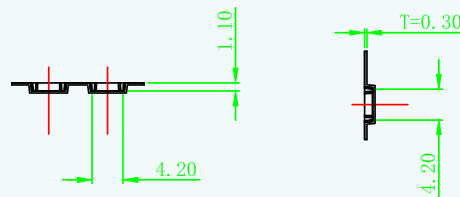


SYMBOL	MILLIMETER		
	MIN	NOM	MAX
A	0.70	0.75	0.80
A1	0	0.02	0.05
b	0.15	0.20	0.25
b1	0.14REF		
c	0.203REF		
D	3.90	4.00	4.10
D2	2.60	2.70	2.80
e	0.40BSC		
Ne	2.80BSC		
Nd	2.80BSC		
E	3.90	4.00	4.10
E2	2.60	2.70	2.80
L	0.30	0.35	0.40
h	0.25	0.30	0.35
K	0.25	0.30	0.35

TAPE AND REEL INFORMATION



W	12.00±0.30	P0	4.00±0.10
S	---	A0	4.20±0.10
P	8.00±0.10	A1	
E	1.75±0.10	B0	4.20±0.10
F	5.50±0.10	B1	
P2	2.00±0.10	K0	1.10±0.10
D0	1.50+0.10/-0.00	K1	
D1		t	0.30±0.05



330*100*12

Note:

1. Pitch Tolerance Over Any 10 Pitch ± 0.20 .
2. Material: Conductive Polystyrene
Thickness: 0.30 ± 0.05 mm.
3. Surface resistance: $\leq 10^{11}$ Ohm.
4. Packing Length Per 13" Reel: Meters.
5. Component Load Per 13" Reel: Pcs.
6. All dimensions meet EIA-481 requirements.

MOS电路操作注意事项:

静电在很多地方都会产生, 采取下面的预防措施, 可以有效防止MOS电路由于受静电放电影响而引起的损坏:

- 操作人员要通过防静电腕带接地
- 设备外壳必须接地
- 装配过程中使用的工具必须接地
- 必须采用导体包装货防静电材料包装或运输



声明:

- 上海智浦欣微电子有限公司保留说明书的更改权, 恕不另行通知! 客户在使用前应获取最新版本资料, 并验证相关信息是否完整和最新。
- 任何半导体产品在特定条件下都有一定的失效或发生故障的可能, 买方有责任在使用上海智浦欣产品进行系统设计和整机制造时遵守安全标准并采取安全措施, 以避免潜在失效风险可能造成人身伤害或财产损失情况的发生!
- 产品品质的提升永无止境, 上海智浦欣微电子有限公司将竭诚为客户提供更优秀的产品!