

AAT3686 充电管理芯片是 AnalogicTech™ 全面电源管理芯片家族的一员。AAT3686 是一款高度集成的 USB/适配器输入锂离子/聚合物充电芯片，对外部元器件的需求大大降低，如图 1。

AAT3686 可以为 4.2 V 锂离子/锂聚合物电池精确地调节电池电压和电流。AAT3686 适配器充电输入电流最大可以设置成 1.5 A。在不用适配器的时候，当接上 USB 充电时，电池可以通过 USB 电源来进行充电。根据 USB 口的不同，AAT3686 的两个 USB 充电电流都可以独立设置成最大 500 mA。一个可选择的充电减少电路同样内置在芯片中，允许使用者通过 USB 口的电流给电池充电，同时保持接口电压可调。当适配器插入的时候，USB 充电则失去作用。电池温度和充电状态在错误状况下被监测。如果发生过压或者过温状况的话，器件将会自动关断，由此保护充电器件、控制系统和正在充电的电池。状态检测输出引脚的两个外部 LED 来指示电池的充电状态。AAT3686 拥有一个串行输出口，可以向微控制器报告 22 种状态。

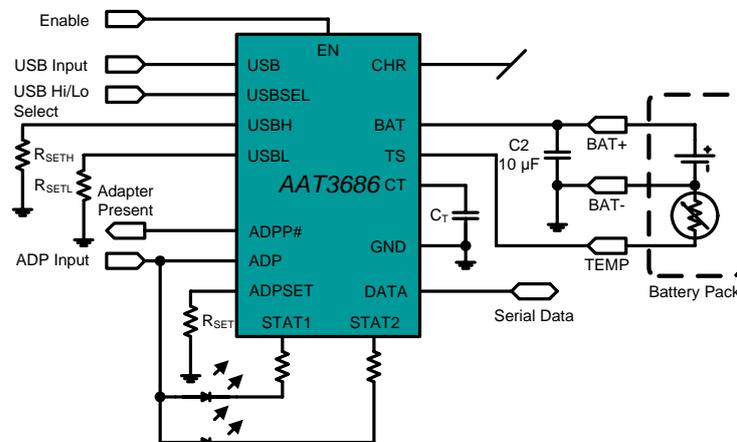


图 1 AAT3686 典型应用电路图

AAT3686 的主要特点:

- **USB/AC 适配器系统电源充电器:**
 - USB: 可为 USB Hi/Lo 分别调节到 500 mA 充电电流;
 - 适配器: 可调节到 1.5 A 最大充电电流;
- 适配器充电时数字式温度调节;
- 使用 USB 充电时, 充电减少回路;
- 22 种串行接口状态报告。
- **内部高度集成:**
 - 充电器件, 反向阻断二极管;;
 - 电流侦测;
- 输入电压范围 4.0 V 到 5.5 V;
- 适配器插入时 USB 充电失去作用, 适配器状态指示器 (ADPP# 引脚);
- 自动重新充电时序;
- 电池温度监测, 完全电池充电自动关断;
- 过压保护, 过温保护, 上电复位和软启动;
- 16 引脚 4x4 TDFN 封装。

AAT3686 的应用:

- 蜂窝电话
- 数码相机
- 便携式电脑
- 便携 Mp3 播放器
- 个人数字助理 (PDA)
- 其它锂离子/锂聚合物电池供电设备

AAT3686 引脚配置

TDFN44-16 (顶部视图)

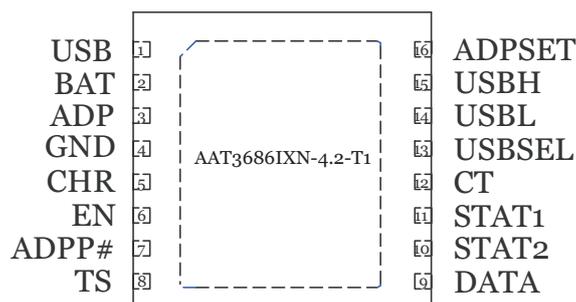


图 2 AAT3686IXN-4.2-T1 引脚配置

AAT3686 引脚定义

引脚	符号	形式	功能
1	USB	In	USB 电源输入。
2	BAT	In/Out	电池充电和感应。
3	ADP	In	适配器输入。
4	GND	接地	接地连接。
5	CHR	In/Out	充电减少模式下电阻分压来设置 USB 电压。让这个引脚缺省为 4.5 V USB 调节点。连接 USB 引脚可使这个功能失效。
6	EN	In	使能引脚。高电平打开 IC。
7	ADPP#	Out	适配器指示。这个引脚始终为漏极开路输出直到 ADP 引脚达到阈值。
8	TS	In/Out	连接 10 kΩ 热敏电阻。
9	DATA	In/Out	对微控制器进行状态报告，串行接口，开漏。
10	STAT2	Out	电池充电状态指示器引脚连接一个 LED：低电平，开漏。
11	STAT1	Out	电池充电状态指示器引脚连接一个 LED：低电平，开漏。
12	CT	In/Out	时序电容，调整内部看门狗定时器。给适配器涓流充电、恒流充电和恒压充电设定最大时间。看门狗定时器仅仅给适配器充电设置时间；USB 充电时没有时间限制。
13	USBSEL	In	当使用 USB 充电时，使用这个引脚来选择 100 mA 或 500 mA 端口电流设限。
14	USBL	In/Out	在这里连接电阻来设置 USB 低电流充电电流。
15	USBH	In/Out	在这里连接电阻来设置 USB 高电流充电电流。
16	ADPSET	In/Out	在这里连接电阻来设置适配器充电电流。
EP			Exposed paddle (底部)；封装下部直接接地。

AAT3686 绝对最大额定值¹

符号	描述	值	单位
V_P	USB, 适配器, < 30 ms, 占空比 < 10%	-0.3 – 7.0	V
V_P	USB, 适配器连续输入	-0.3 – 6.0	V
V_N	BAT, USBSEL, USBH, USBL, ADPSET, STAT1, STAT2, ADPP#, DATA, TS, CT, CHR, EN	-0.3 – $V_P+0.3$ V	V
T_J	工作时节点温度范围	-40 – 150	°C
T_{LEAD}	最大焊接温度 (引脚处)	300	°C

AAT3686 热量信息²

符号	描述	值	单位
θ_{JA}	最大热阻 (4x4 TDFN)	37	°C/W
P_D	最大功率耗散	2.7	W

1. 高于上述最大额定值可能导致器件永久损坏。除了操作条件以外没有详细指出。任何情况下, 只有一个完全最大额定值。
2. 贴在 FR4 板上。

AAT3686 电特性¹ - 1

$V_{ADP} = 5\text{ V}$, $T_A = -25\text{ }^{\circ}\text{C} - +85\text{ }^{\circ}\text{C}$, 除非另外说明, 典型值为 $T_A = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

符号	描述	条件	最小值	典型值	最大值	单位
操作						
USB, ADP	USB 或适配器口电压范围		4.0		5.5	V
V_{ADPP}	适配器指示器阈值电压	正在用USB充电	4.25	4.5	4.7	V
V_{U_DSBL}	适配器电压失效 USB 充电		4.25	4.5	4.7	V
V_{UVLO}	欠压关断	上升沿		3.0		V
	欠压关断滞后			150		mV
I_{OP}	操作电流	恒流充电500 mA		0.75	1.5	mA
I_{SLEEP}	睡眠模式电流	$V_{BAT} = 4.25\text{ V}$		0.3	1.0	μA
$I_{LEAKAGE}$	从 BAT 引脚反向峰值电流	$V_{BAT} = 4\text{ V}$, USB, 适配器引脚打开		1.0		μA
电压调节						
BAT	EOC (充电结束) 电压精度		4.158	4.2	4.242	V
$\Delta V_{BAT}/V_{BAT}$	EOC 电压公差			0.5		%
V_{MIN}	预调整充电阈值		2.8	3.0	3.15	V
V_{RCH}	电池重新充电阈值			$V_{BAT_EOC} - 0.1$		V
V_{USB_CHR}	USB 充电减少调节	CHR 引脚无连接	4.3	4.5	4.64	V
$V_{_CHR}$	CHR 引脚电压精度		1.9	2.0	2.1	V
电流调节						
I_{CH}	充电电流		100		1500	mA
$\Delta I_{CH}/I_{CH}$	充电电流调节公差			10		%
V_{ADPSET}	ADPSET 引脚电压			2.0		V
V_{USBH}	USBH 引脚电压			2.0		V
V_{USBL}	USBL 引脚电压			2.0		V
k_{I_A}	电流设置因数	I_{CHARGE}/I_{ADPSET}		4000		
k_{I_UH}	电流设置因数	I_{CHARGE}/I_{USBH}		2000		
k_{I_UL}	电流设置因数	I_{CHARGE}/I_{USBL}		2000		
充电器件						
$R_{DS_ON_A}$	ADP 充电晶体管导通阻抗	$V_{IN} = 5.5\text{ V}$	0.2	0.25	0.35	Ω
$R_{DS_ON_U}$	USB 充电晶体管导通阻抗	$V_{IN} = 5.5\text{ V}$	0.4	0.5	0.65	Ω

1. AAT3686 输出电压的周围温度指定在 $0\text{ }^{\circ}\text{C} - 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围; 操作在 $-25\text{ }^{\circ}\text{C} - +85\text{ }^{\circ}\text{C}$ 是设计中所验证的温度范围。

AAT3686 电特性¹ - 2

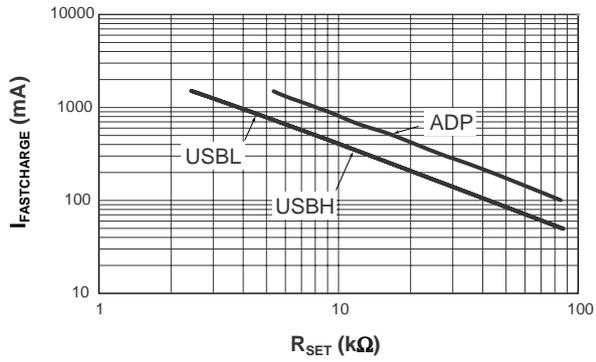
$V_{ADP} = 5\text{ V}$, $T_A = -25\text{ }^{\circ}\text{C} - +85\text{ }^{\circ}\text{C}$, 除非另外说明, 典型值为 $T_A = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

符号	描述	条件	最小值	典型值	最大值	单位
逻辑控制/保护						
$V_{USBSEL(H)}$	输入高电平阈值		1.6			V
$V_{USBSEL(L)}$	输入低电平阈值				0.4	V
$V_{EN(H)}$	输入高电平阈值		1.6			V
$V_{EN(L)}$	输入低电平阈值				0.4	V
$V_{ADPP\#}$	输入低电平阈值	ADPP#引脚共阴4 mA			0.4	V
T_P	预调整充电超时 (适配器)	$C_{CT} = 100\text{ nF}$ $V_{ADP} = 5.5\text{ V}$		25		min
T_C	恒流充电超时 (适配器)			3.0		h
T_V	恒压充电超时 (适配器)			3.0		h
V_{STAT}	输出低电平电压	STAT引脚共阴4 mA			0.4	V
I_{STAT}	STAT 引脚电流输出能力			8.0		mA
V_{OVP}	过压保护阈值			4.4		V
	预充电电流 I_{TK}/I_{CHG}	适配器或USBH模式		10		%
		USBL模式		50		%
	充电终止阈值电流 I_{TERM}/I_{CHG}	适配器或者USBH模式		7.5		%
	充电终止阈值电流 I_{TERM}/I_{CHG}	USBL模式		35		%
I_{TS}	从 TS 引脚的电流源		70	80	90	μA
TS_1	TS 高温错误	阈值	310	330	350	mV
		滞后		15		
TS_2	TS 低温错误	阈值	2.2	2.3	2.4	V
		滞后		10		mV
I_{DATA}	DATA 引脚共阴电流	数据引脚低电平状态	3			mA
$I_{ADPP\#}$	ADPP#引脚电流能力	ADPP#引脚低电平状态		8		mA
$V_{DATA(H)}$	输入高电平阈值		1.6			V
$V_{DATA(L)}$	输入低电平阈值				0.4	V
SQ_{PULSE}	状态请求脉宽	状态请求	200			ns
t_{PERIOD}	系统时钟周期			50		μs
f_{DATA}	数据输出频率			20		kHz
T_{REG}	热温循环调节			90		$^{\circ}\text{C}$
T_{LOOP_IN}	热温循环调节进入阈值			110		$^{\circ}\text{C}$
T_{LOOP_OUT}	热温循环调节退出阈值			85		$^{\circ}\text{C}$
T_{OVSD}	过温关断阈值			145		$^{\circ}\text{C}$

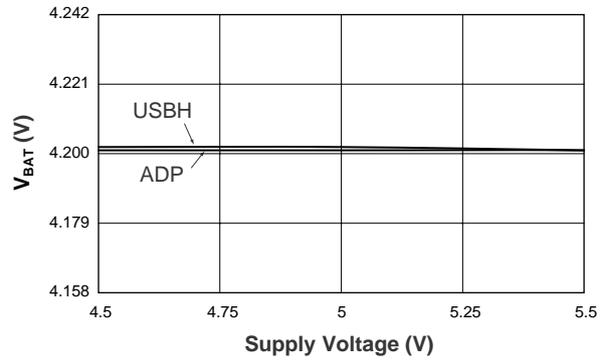
1. AAT3686 输出电压的周围温度指定在 $0\text{ }^{\circ}\text{C} - 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围; 操作在 $-25\text{ }^{\circ}\text{C} - +85\text{ }^{\circ}\text{C}$ 是设计中所验证的温度范围。

典型特性图 - 1

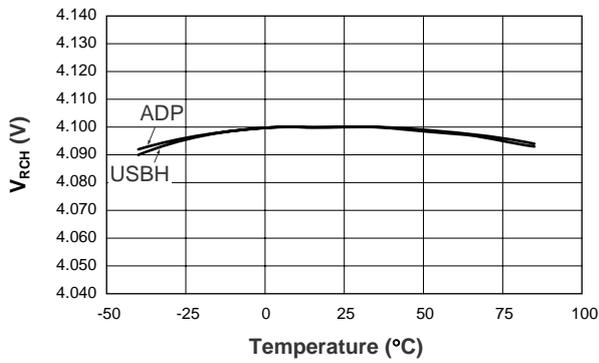
$I_{FASTCHARGE}$ 与 R_{SET} 的关系曲线



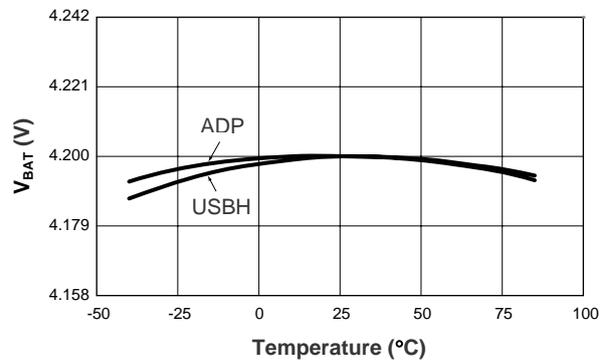
电池电压与 V_{IN} 的关系曲线



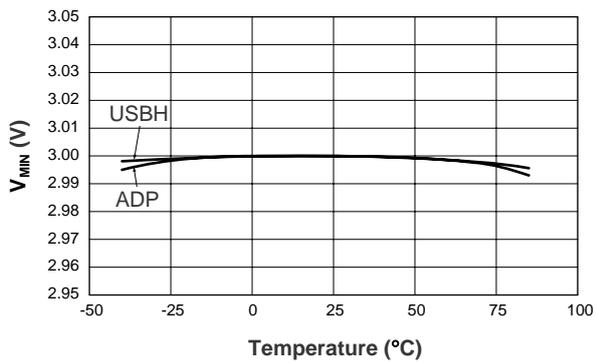
再充电电压与温度的关系曲线



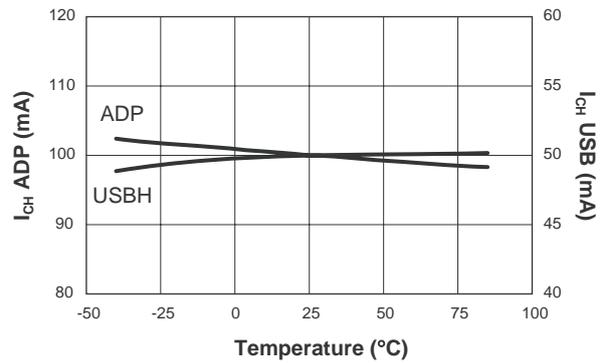
充电结束与温度的关系曲线



预充电电压阈值与温度的关系曲线



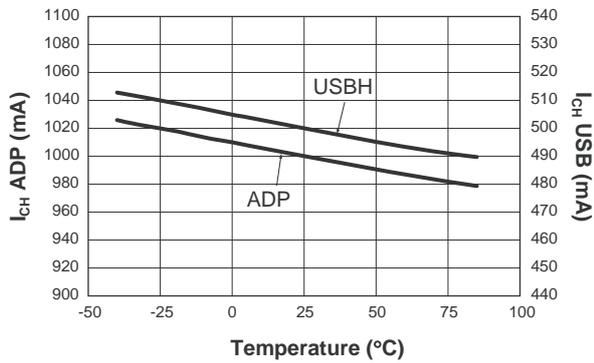
预充电流 I_{CH} 与温度的关系曲线
($ADPSET = 8.06k\Omega$; $USBH = 8.06k\Omega$)



典型特性图 - 2

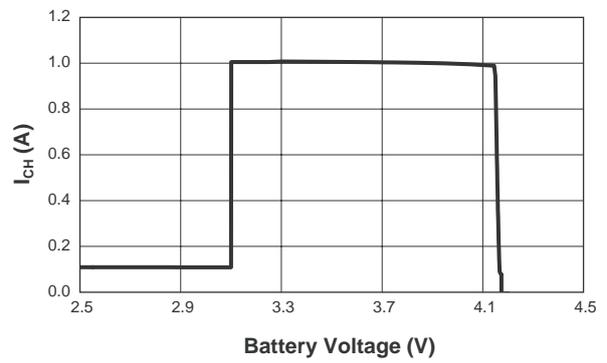
快速充电电流与温度的关系曲线

(ADPSET = 8.0 kΩ; USBH = 8.06 kΩ)



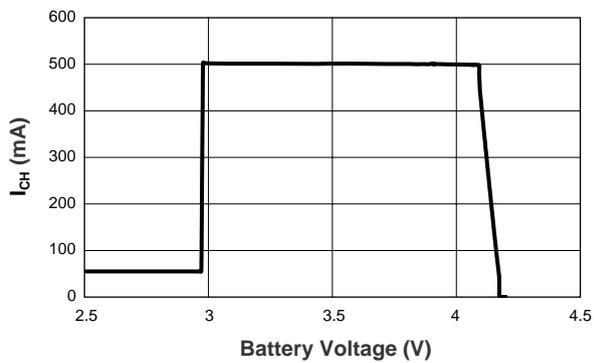
充电电流与供电电压的关系曲线

(适配器; ADPSET = 8.06 kΩ)



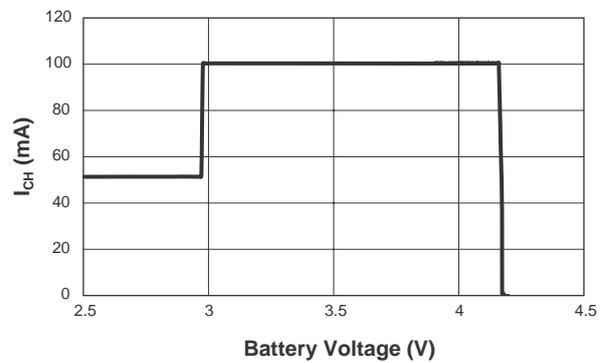
充电电流与电池电压的关系曲线

(USBH; USBH = 8.06 kΩ)



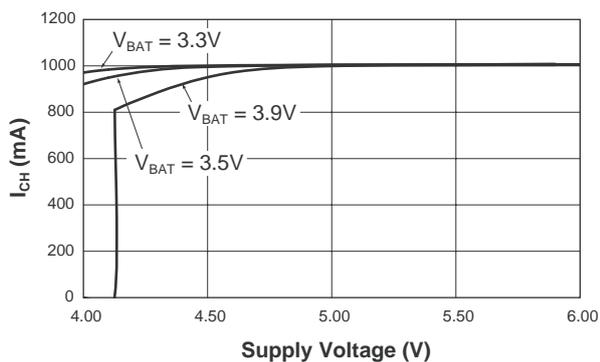
充电电流与电池电压的关系曲线

(USBH; USBL = 40.2 kΩ)



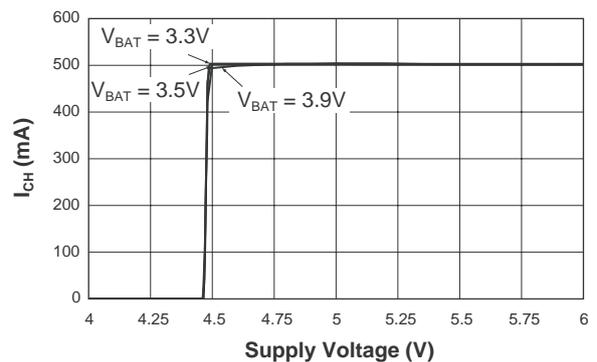
快速充电电流与供电电压的关系曲线

(适配器; ADPSET = 8.06 kΩ)



快速充电电流与供电电压的关系曲线

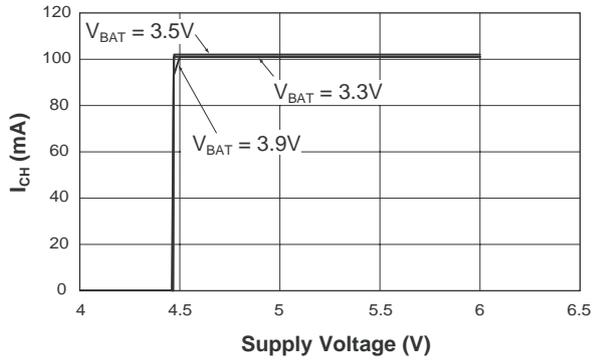
(USBH; USBH = 8.06 kΩ)



典型特性图 - 3

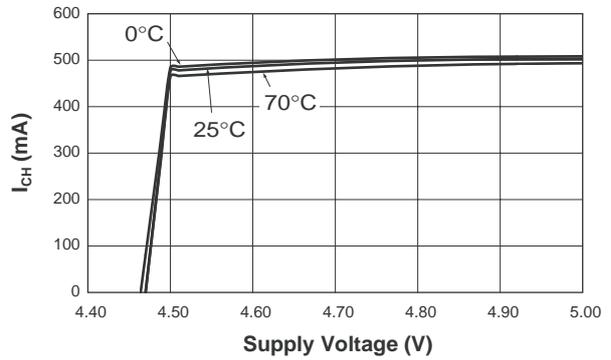
快速充电电流与供电电压的关系曲线

(USBH; USBL = 40.2 kΩ)



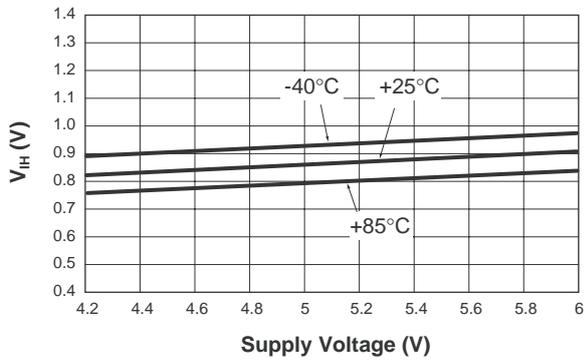
快速充电电流与供电电压的关系曲线

(USBH; USBH = 8.06 kΩ)



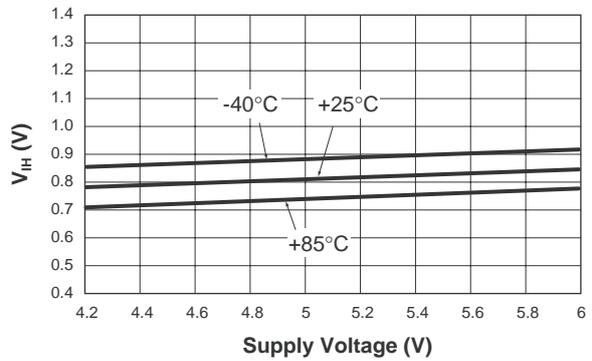
V_{IH}与供电电压的关系曲线

EN 引脚 (上升沿)



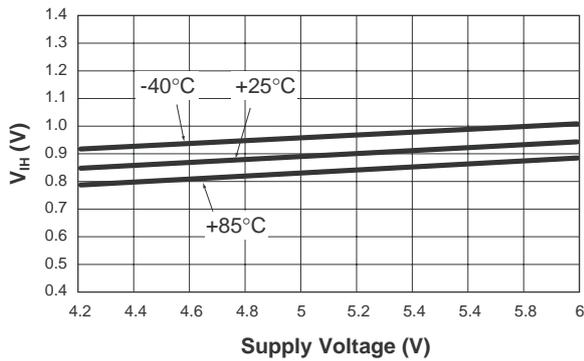
充电电流与电池电压的关系曲线

EN 引脚 (下降沿)



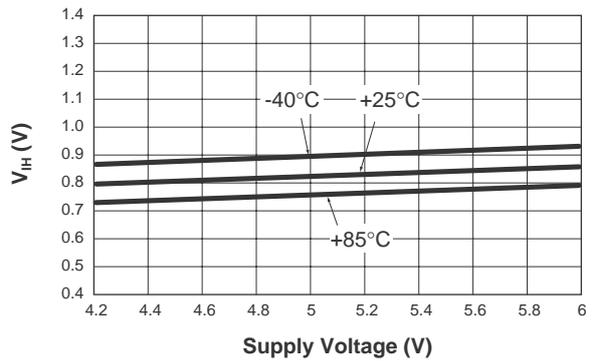
V_{IH}与供电电压的关系曲线

USBSEL (上升沿)



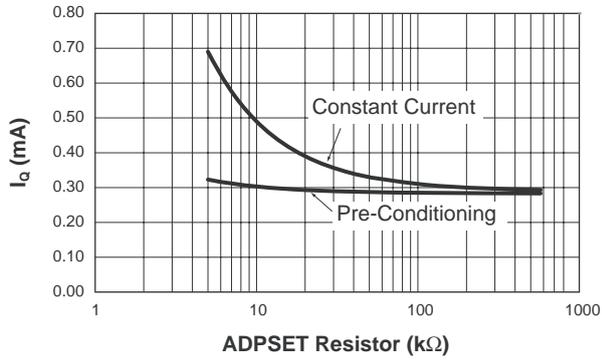
快速充电电流与供电电压的关系曲线

USBSEL (下降沿)

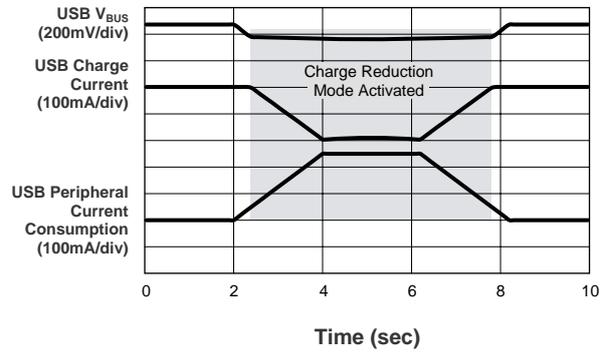


典型特性图 - 4

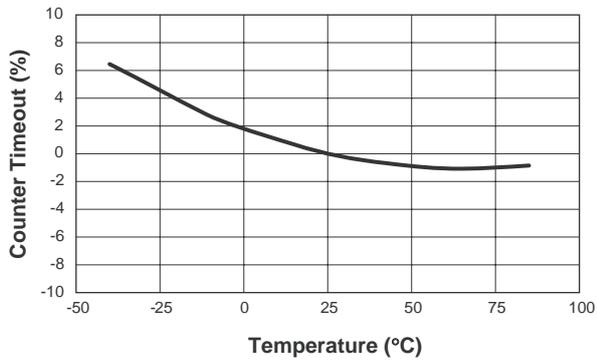
静态电流 I_Q 与适配器电阻的关系曲线



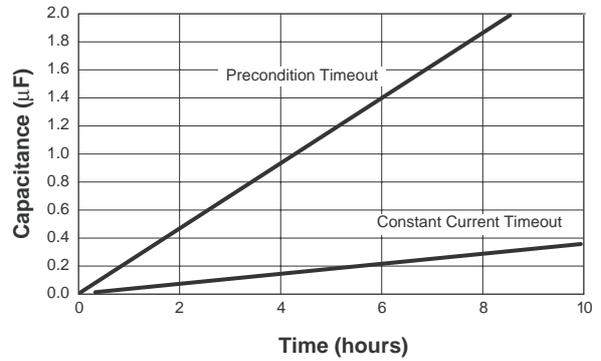
USB 充电电流与时间的关系曲线
(USBH; USBH = 8.06 kΩ)



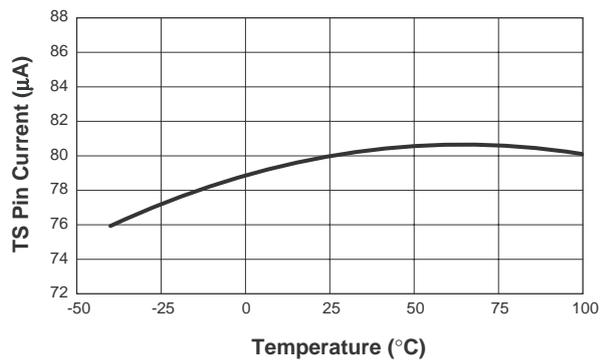
计数器超时与温度的关系曲线
(CT = 0.1 μF)



电容与计数器超时的关系曲线



温度感应输出电流与温度的关系曲线



AAT3686 功能说明

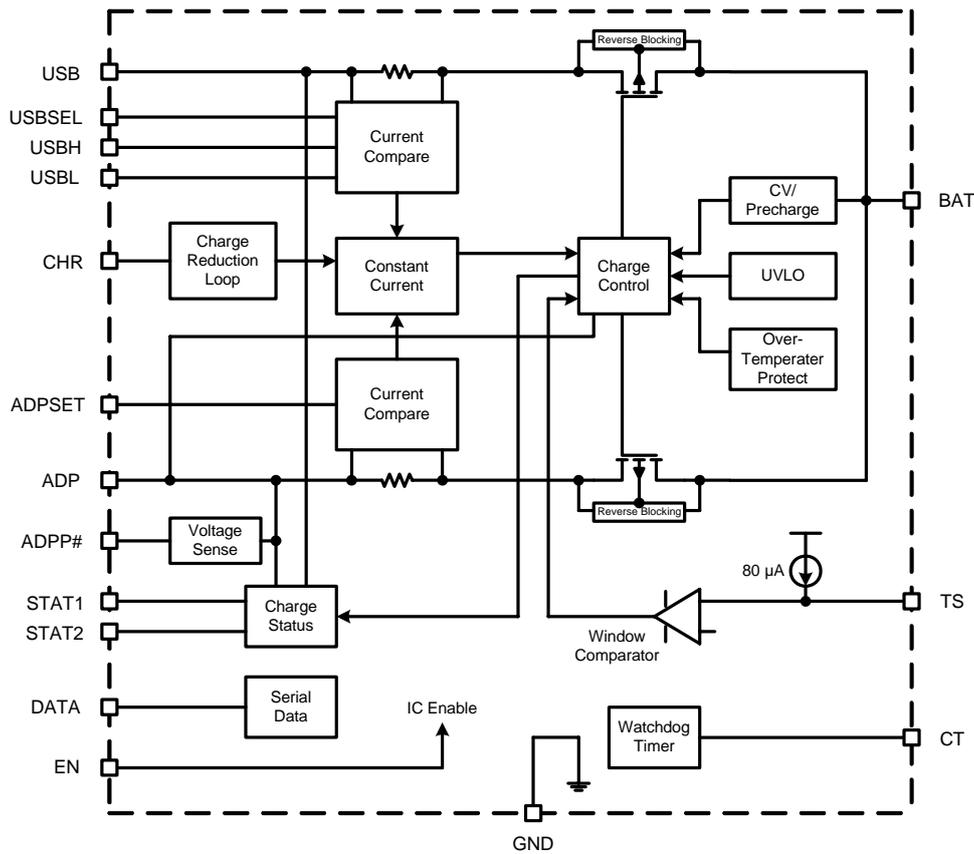


图 3 AAT3686 方块图

AAT3686 是一款高度集成的 USB/适配器输入锂离子/锂聚合物充电芯片，对外部元器件的需求大大降低。它可以为 4.2 V 锂离子/锂聚合物电池精确地调节电池电压和电流。

在快速充电应用中，适配器输入恒定电流最高可以设定为 1.5 A。如果不用适配器进行，那么 AAT3686 可以用 USB 端口的 V_{BUS} 进行供电。取决于 USB 端口的不同形式，AAT3686 的恒定充电电流可以被外部设定成两个级别，USB 高和 USB 低，最大恒定电流可以达到 500 mA。一般说来，USB 充电级别在 USBH 时为 500 mA，在 USBL 时为 100 mA；然而，使用者可以设计低于 500 mA 以下的任何级别的电流对电池进行充电。

USBH/L 模式有一个自动充电减少环路（Charge Reduction Loop）控制，当维持调节端口电压时，允许用户从 USB 口以有限的可用电流给电池充电。当充电的时候其它系统同样需要从各自的端口供电时，这个系统保证电池充电功能不会使 USB 端口过载。当适配器输入电源电压大于 4.4 V 时，USB 充电功能自动失效。

状态监测输出引脚通过直接驱动两个外部 LED 来提供电池充电状态指示功能。一个串行接口输出可以报告 22 种不同的状态给微控制器。

电池温度和充电状态全部在错误状况下被监测。如果过压或者过温故障发生的时候，器件将会自动关断，因此可以保护充电器件，控制系统和正在充电的电池。另外有内部充电控制器的温度保护，如果电池在充电过程中，温度达到它本身温度极限的时候，AAT3686 同样提供了由电池的温度感应反馈功能（TS 引脚）来关断器件。所有错误既可以通过简单的状态 LED，又可以通过 DATA 引脚报告给用户。

充电操作

不管使用到哪一个充电功能（例如，适配器输入或者 USB 输入），AAT3686 有四种充电基本

模式，如图 4 所示：预调整/涪流充电；恒流/快速充电；恒压；充电结束。

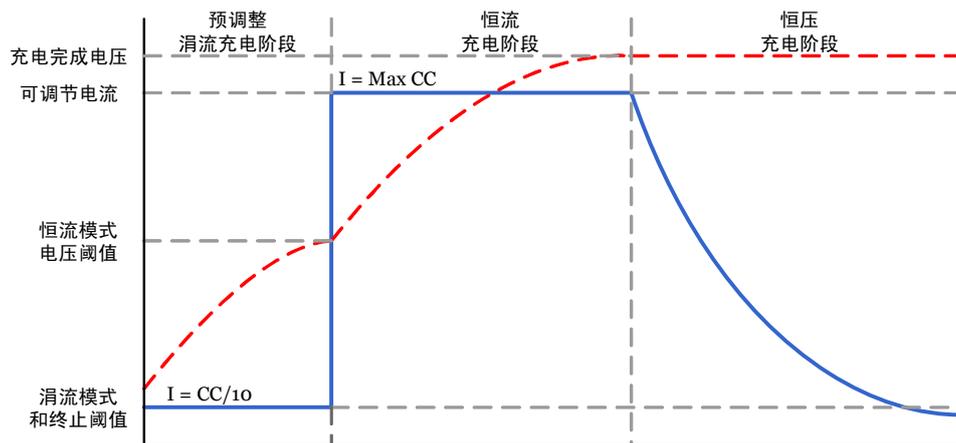


图 4 充电阶段的电流/电压曲线图

电池预调整充电

在充电之前，AAT3686 检查相应的环境来确保充电环境的安全。为了充电时序的开始，输入电压必须高于最小操作电压，或者是欠压关断阈值 (V_{UVLO})。同样的，电池的温度，通过连接电池和芯片 TS 引脚的热敏电阻来报告，必须在合适的安全充电范围内。当遇到这些状况时并且电池跟 BAT 引脚相连时，AAT3686 检查电池的状态。如果电池电压在预充电电压阈值 (V_{MIN}) 之下，则 AAT3686 开始对电池进行预充电。

电池预调整涪流充电等于快速恒流充电电流除以 10 (USBL 除以 2)。例如，如果快速充电电流设置在 500 mA，那么预充模式电流为 50 mA。电池预调整充电对于深度放电的电池起到预防安全的作用并且也帮助限制当电压在最大潜能通过器件时，传输晶体管中的功率耗散。

恒流快速充电

电池预调整充电直到 BAT 引脚上的电压达到预充电电压的极限值 (V_{MIN}) 时，AAT3686 开始进行恒流充电。快速充电电流 I_{CC} 的大小取决于充电模式：ADP，USBH 或是 USBL，并且用户可以通过 R_{SET} 、 R_{SETH} 和 R_{SETL} 电阻进行设置。AAT3686 将维持恒流充电直到电池达到电压调节点， V_{BAT} 。

恒压充电

在恒流充电阶段，当电池电压达到输出充电调节阈值 V_{BAT} 时，系统转换成一个恒定的电压充电模式。调节电压的级别是 4.2 V ($\pm 1\%$)。充电电流随着充电电池逐渐达到最大容量而下降。

充电结束周期和重新充电时序

当充电电流下降到恒压模式下可调节级别的 7.5% (USBL 为 35%) 时，器件停止充电并且进入待机状态。充电器将会一直停留在待机状态直到电池电压减少到电池重新充电阈值 V_{RCH} 。

当输入断开连接或者下降到 $UVLO$ 之下或者 $EN = 0$ ，充电器自动进入省电睡眠模式。在睡眠模式下仅仅消耗超低的 2 μA 电流，所以，当电池不充电时，AAT3686 使电池漏电最小化。这个功能在输入级别降到充电电压以下或者欠压关断级别时非常有用。在这种情况下，AAT3686 输入电压下降，器件将会自动进入省电模式，当输入恢复到缺省条件时，又重新继续充电。

系统操作流程

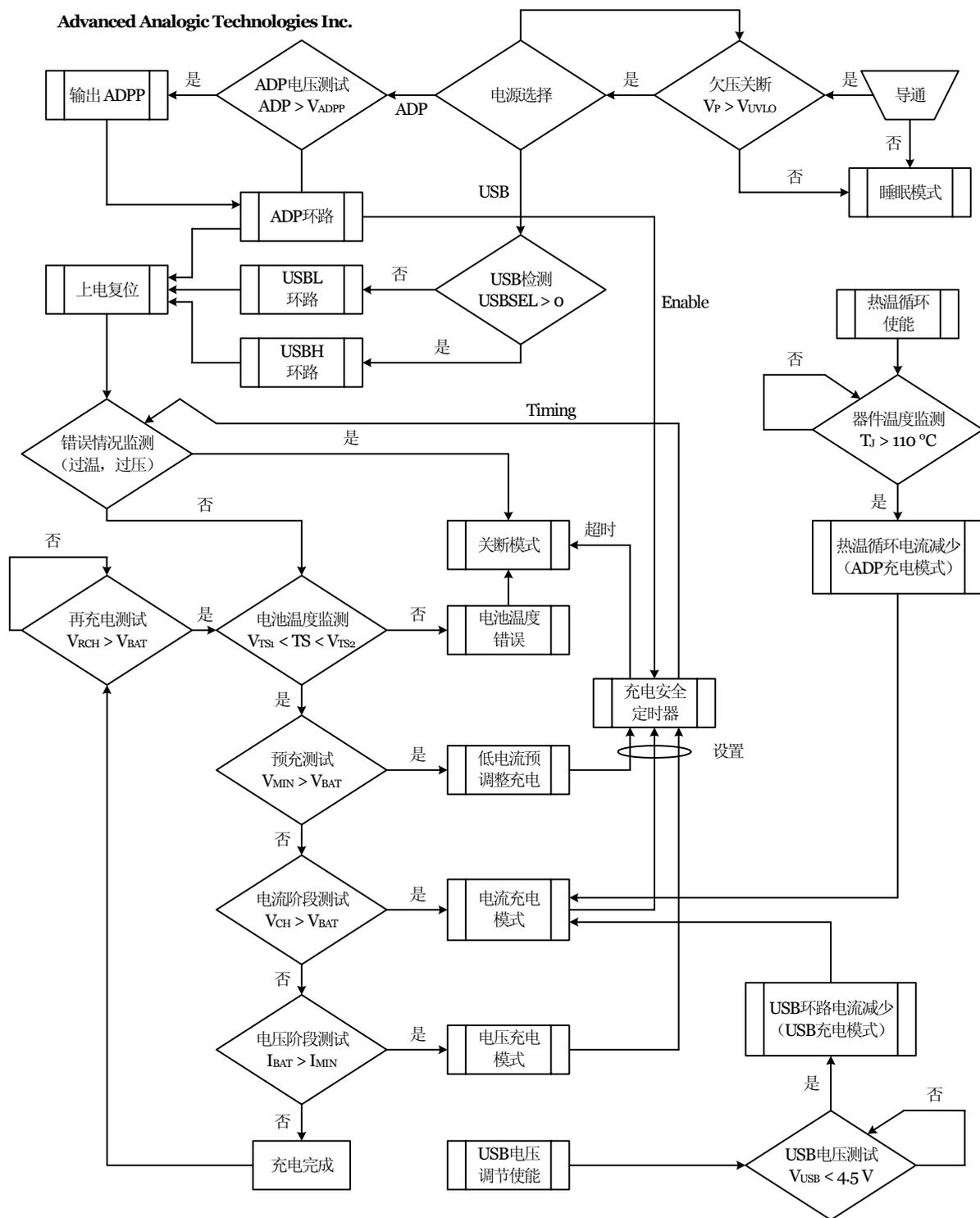


图5 系统操作流程

AAT3686 应用信息

交流适配器/USB 系统电源充电

适配器模式

在适配器充电模式下，用户可以自行设定，最大充电电流可以达到 1 A。在使用 USB 充电时，当插上适配器时，AAT3686 系统控制通常自动选择 ADP 充电。AAT3686 的操作电压范围是在 4.0 V 至 5.5 V 之间。

适配器输入模式的恒流充电电流可以通过连接在ADPSET引脚和电源地之间的R_{SET}电阻来设置。可以通过表 1 推荐的R_{SET}值得到一个期望的电流充电级别。适配器输入的电压通过ADPP#引脚来指示的。这个指示引脚是一个漏极开路并且当ADP引脚上监测到电压的时候，ADPP#引脚将会被拉低。精确充电功能是通过读取DATA引脚或状态LED来实现的。请参考本文中关于电池充电状态指示的讨论。

I _{CC}	ADP R _{SET} (kΩ)	USBH R _{SETH} (kΩ)	USBL R _{SETL} (kΩ)
50	N/A	86.6	86.6
75	N/A	57.6	57.6
100	84.5	42.2	42.2
200	43.2	21.0	20.5
300	28.0	13.7	13.7
400	21.0	10.2	10.2
500	16.9	8.06	8.06
600	13.3	6.65	6.65
700	11.5	5.62	5.62
800	10.2	4.87	4.87
900	9.09	4.32	4.32
1000	8.06	3.83	3.83
1100	7.32	3.48	3.48
1200	6.65	3.16	3.16
1300	6.04	2.87	2.87
1400	5.62	2.67	2.67
1500	5.36	2.43	2.43

表 1 电阻值

热温循环 (Thermal Loop) 控制

由于在适配器模式下线性充电控制开关器件的集成属性，使用到一个特殊的热温循环控制系统，在所有的操作条件下，最大化充电电流。温度管理系统测量芯片内部电路温度，并且当器件达到预设内部温度控制阈值的时候，减少快速充电电流。当温度环路控制启动的时候，充电电流初始化减少，系数为 0.44。

初始化热温循环电流可以用下面这个公式来估计：

$$I_{\text{TLOOP}} = 0.44I_{\text{CC}}$$

热温循环控制每 3 秒重新测试芯片的温度并且以较小的阶数方式调整快速充电电流，或者直到有一个均衡电流并且达到给定的周围环境温度，电流最大化。在热温循环控制系统充电级别的条件，AAT3686 可以在任意给定温度环境下以最大级别的恒流进行充电。

适配器输入充电禁止和继续

AAT3686 有欠压关断和上电复位的属性，因此，如果输入连接到适配器引脚上的电压下降到 UVLO 阈值以下，充电器将会延缓充电并且关断。当电源重新连接到适配器引脚上或者 UVLO 状态恢复，ADP > V_{BAT}，系统充电控制将会估定电池的充电状态，进而自动继续在合适的模式下的对

电池进行充电。

USB 模式

AAT3686 提供一个智能USB充电输入。当适配器引脚上没有电压的时候，充电控制器将会自动切换到接受从USB输入的能量。USB充电提供两种可编程快速充电模式，每种最大都可以到 500 mA，USB高电平和USB低电平，分别用USBH和USBL来表示。USBH或者USBL可以通过USBSEL引脚进行外部选择。USBSEL内部通过一个 1 MΩ 的电阻拉低。当USBSEL连接到逻辑高电平时，USBH将会开始作用。相反，当USBSEL连接到逻辑低电平（接地），将会用USBL进行充电。一般来说，USBH设置成 500 mA，USBL设置成 100 mA。然而，通过选择合适的R_{SETH}和R_{SETL}电阻值，用户可以自定义这两个充电档，使充电电流在 50 mA和 500 mA之间。参考表 1 的R_{SETH}和R_{SETL}的推荐值来满足USB输入恒流充电级别的需求。

USB 充电减少

在许多应用中，系统产品设计者不知道一个潜在的 USB 端口可以供给电池充电器能量的实际值。一般说来，台式机或者笔记本电脑的 USB 供电都可以支持 500 mA。如果一个给电池充电器供电的 USB 端口不能提供设定好的快速充电电流，或者说，正在充电的系统必须分享供电电流给其它功能，那么，AAT3686 将会自动减少 USB 快速充电电流来维持端口完整性并且保护主机系统。

当在USB输入降低到USB充电减少阈值（V_{USBCHR}）时，一般为 4.5 V，USB充电减少系统将会启动。不管使用到哪个充电功能（USBH或USBL），充电减少系统将会以线性方式减少快速充电电流直到USB输入恢复到充电减少电压阈值以上。USB充电减少功能可以通过外部设置一个低于 4.5 V 的值，通过在V_{USB}和GND之间，且中心连接到CHR引脚上的一个电阻分压网络来实现。从CHR引脚直接连一个 10 kΩ 的电阻到USB输入引脚将会使USB充电减少属性失效（如图 6）。

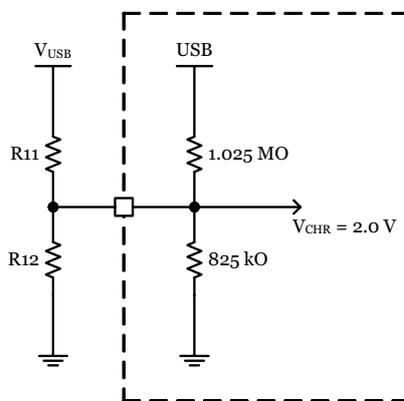


图 6 CHR 引脚的内部等效电路

下面这个是在近似使用 USB 充电减少阈值低于 4.5 V 的时候的公式：

$$V_{\text{USBCHR}} = \frac{2.0 \text{ V}}{\frac{R_{12}}{R_{12} + R_{11}}} ; R_{11}/R_{12} \ll 1 \text{ M}\Omega$$

USB 输入充电禁止和继续

当 USB 输入引脚电压级别跌落到 UVLO 阈值以下时，AAT3686 的 UVLO 和上电复位属性将会启动。在这点上，充电器将会延缓充电并且关断。当电源重新连接到 USB 引脚上或者 UVLO 状态恢复，系统充电控制将会估定电池的充电状态，进而自动继续在合适的模式下的对电池进行充电。

使能/失效

AAT3686 提供一个使能功能来控制充电芯片的开和关。使能引脚高电平有效。当拉到逻辑低电平时，AAT3686 将会被关断并且强迫进入睡眠状态，不管电池电压或者充电状态，充电将会暂停。当器件重新使能，充电控制电路自动重启动，然后继续在基于电池充电状态和电池电压测量的合适的充电模式下充电。

设置充电电流

适配器和USB恒流充电模式输入电流级别都是通过连接 R_{SET} 电阻，在ADP、USBH和USBL引脚与电源地之间。快速充电和预调整涓流充电的精度通过使用的调节电阻的公差决定的。因为这个原因，所以推荐使用 1% 公差的金膜电阻器作为 R_{SET} 电阻。

如表 1 所示，通过选择合适的设置电阻，快速恒流充电级别可以设置成从 20 mA 到 1 A。 R_{SET} 电阻的两端分别与ADPSET引脚和GND相连。

USB输入快速充电恒流充电控制提供两种电流标准：USBH和USBL。USBSEL引脚用来选择USB充电中的高或者低电流级别。当USBSEL拉到 $V_{USBSEL(H)}$ 阈值之上，那么将会选择USBH模式。相反的，如果这个引脚拉到 $V_{USBSEL(L)}$ 阈值以下，则选择USBL充电模式。一般来说， R_{SETH} 和 R_{SETL} 固定的作为 500 mA USBH和 100 mA USBL快速充电标准。然而，这两种充电标准可以设置在 20 mA 到 500 mA 之间，取决于USB充电应用的系统设计需求。参考图 7 和表 1 的 R_{SETH} 和 R_{SETL} 的推荐值。

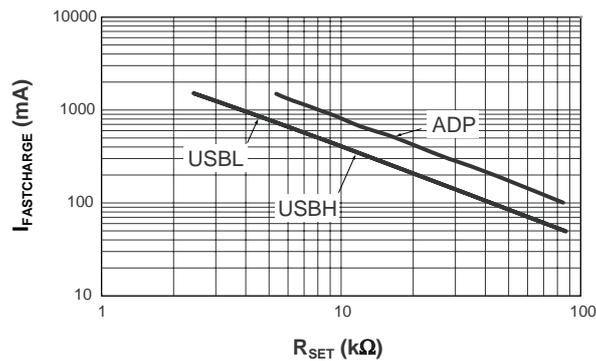


图 7 $I_{FASTCHARGE}$ 与 R_{SET} 的关系曲线

保护电路

可编程看门狗定时器

AAT3686 的适配器输入充电模式包括看门狗定时器电路。USB 输入模式不带看门狗定时器。一般的话，0.1 μF 陶瓷电容器连接在 TC 引脚和 GND 之间。当使用 0.1 μF 陶瓷电容的时候，如果涓流充电模式达到 25 分钟极限的时候器件将会关断，并且包含一个 3 小时的涓流加恒流快速充电模式。当器件转换到恒压模式的时候，定时器复位，在 3 小时后超时，关断充电器。

模式	时间
涓流 (TC) 超时	25 min
涓流 (CC) + 快速充电 (CC) 超时	3 h
恒压 (VC) 模式超时	3 h

表 2 使用 0.1 μF 定时电容的总结

CT 引脚通过一个恒流源驱动，并且提供一个线性响应来增加定时电容的值。因此，如果定时电容变成名义上 0.1 μF 的两倍，那么超时时间加倍。

如果不需要看门狗定时器功能，可以通过把 CT 引脚直接接地来失效。CT 引脚不能成为浮动

的或者非终止的，因为这样的话会在内部控制电路种产生错误。

恒流充电使定时电容非常小，而且这个引脚很容易受到噪声的影响和电容值的改变。因此，定时电容在 PCB 板上要尽可能接近 CT 引脚。因为内部定时器的精度由电容值来决定，所以推荐使用 10%公差或者更好的陶瓷电容。X7R 和 X5R 陶瓷电容器在这个应用中可以说是比较好的选择。

过压保护

过温保护指的是在BAT引脚上的电压超过过压保护阈值（ V_{OVP} ）设置的最大电池充电电压。如果发生过压操作，AAT3686 充电控制将会关断器件，直到BAT引脚下降到过压保护阈值（ V_{OVP} ）以下。在过压保护移除时，AAT3686 将会继续正常充电操作。在过压保护的过程中，STAT的LED将会报告系统错误和目前的错误状况，可以通过DATA引脚的信号来读取。

过温关断

AAT3686 有一个温度保护控制电路，当内部芯片的温度达到预设温度极限阈值的时候，器件关断。

电池温度错误监测

如果电池处在过温的环境下，充电控制将会关断内部的开启器件并且通过数据引脚报告电池温度错误。STAT LED 同样可以显示系统错误。当系统从一个错误温度恢复时，器件将会继续充电操作。

AAT3686 在充电周期开始之前和整个充电周期检查电池温度。这个通过监测 TS 引脚的电压来完成。这个系统使用一般集成在电池封装内部的负温度系数热敏电阻（NTC）。大多数在电池包中的 NTC 热敏电阻在 25 °C 一般为 10 k Ω 。

TS 引脚特别定义，设计成与热敏电阻连接的 80 μ A 电流源。TS 引脚上的电压将通过一个窗形比较器的电阻来维持在 335 mV 到 2.32 V。如果由于内部错误导致电池太热，热敏电阻的温度上升，阻值减少，因此将 TS 引脚的电压拉低到 TS1 阈值以下，AAT3686 将会报告错误状况信号。

如果 TS 引脚功能在系统中不需要的話，那么使用一个 10 k Ω 电阻接在 GND 和 TS 引脚之间。

电池状态指示

AAT3686 指示系统状态通过两个不同的系统。第一，器件有两个状态 LED 驱动输出。这两个 LED 可以指示出简单的，如电池充电动作，充电进行，充电完成和充电错误等几种状态。AAT3686 同样可以提供一个双向数据报告功能，所以系统微处理器可以询问数据引脚并且读出 22 种状态中的一个。

状态指示器显示

简单的系统充电状态可以通过一个或者两个 LED 与 AAT3686 的 STAT1 和 STAT2 引脚相连来显示。这两个引脚分别通过 LED 的阴极与地相连。如果说设计者只想显示“充电”或者“不充电”两种状态，那么只需要一个 LED 灯足矣。这可以通过一个 LED 和 STAT1 来完成。使用两个 LED 和两个状态引脚可以简单地给使用者提供充电状态的更多信息。参考表 3 所示的 LED 显示定义。

LED的阳极需要连接到 V_{USB} 或者 V_{ADP} 上，这取决于系统设计的需求。LED通过很少的电流，提供一个合理的亮度；因此，需要在LED阴极和STAT引脚之间接一个平衡电阻。LED的电流损耗将会计算到器件封装的总温度功耗预算中，这就需要使通过LED的电流最小化。2 mA的电流足以驱动一个低成本的绿色或者红色LED。不推荐超过 8 mA的电流来驱动一个独立的状态LED。需要的平衡电阻值可以通过以下的公式来估算：

状态说明	STAT1	STAT2
充电失效或者低电压	○	○
没有电池时充电使能	闪烁 ¹	闪烁 ¹
电池正在充电	●	○
充电完成	○	●
错误状况	●	●

表 3 LED 显示定义

1: 闪烁的时间取决于输出电容值。

连接到适配器供电:

$$R_{B(STAT1/2)} = \frac{V_{ADP} - V_{F(LED)}}{I_{LED(STAT1/2)}}$$

举例:

$$R_{B(STAT1/2)} = \frac{5.5\text{ V} - 2.0\text{ V}}{2\text{ mA}} = 1.75\text{ k}\Omega$$

注意: 红色LED的前端电压 (V_F) 一般为 2.0 V @ 2 mA。

连接到 USB 供电:

$$R_{B(STAT1/2)} = \frac{V_{USB} - V_{F(LED)}}{I_{LED(STAT1/2)}}$$

举例:

$$R_{B(STAT1/2)} = \frac{5.0\text{ V} - 3.2\text{ V}}{2\text{ mA}} = 900\ \Omega$$

注意: 绿色LED的前端电压 (V_F) 一般为 3.2 V @ 2 mA。

表 3 中给出了 4 种不同状态的 LED 灯显示。

数字充电状态报告

使用 DATA 引脚功能, AAT3686 拥有一个全面的数字数据报告系统。这个功能可以提供关于充电系统状态的详细的信息。DATA 引脚是一个双向口, 当微控制器发送一个请求脉冲的时候,

数字	DATA 状态报告	数字	DATA 状态报告
1	芯片过温关断	13	USBH 电池预充模式
2	电池温度错误	14	USBH 充电减少, 恒流模式
3	过压关闭	15	USBH 恒流模式
4	没有使用	16	USBH 恒压模式
5	ADP 看门狗延时, 电池预充模式	17	USBH 结束充电
6	ADP 电池预充模式	18	USBL 电池预充模式
7	ADP 看门狗延时, 恒流模式	19	USBL 充电减少, 恒流模式
8	ADP 热温循环控制调节, 恒流模式	20	USBL 恒流模式
9	ADP 恒流模式	21	USBL 恒压模式
10	ADP 看门狗延时, 恒压模式	22	USBL 结束充电
11	ADP 恒压模式	23	数据报告错误
12	ADP 结束充电		

表 4 串行数据报告表

可以读取串行数据脉冲。这个单口请求协议将会调用 22 个可能的返回脉冲数据之一, 微控制器可以读取表 4 中的串行报告。

DATA引脚功能低电平有效并且应该拉高到 V_{ADP} 或 V_{USB} 。这条线在微控制器上的逻辑I/O口上要被拉成同样大小的高电平。为了使DATA引脚控制电路产生清晰的，有明显边缘的数据输出并且维持系统数据时序的整合，数据线上的拉高电阻应该足够小，以至于数据信号返回高态的时候没有延迟。如果所选用的拉高电阻阻值过小，从系统微控制器输出的端口脉冲将会达到最大输出脉冲时间并且DATA输出控制可能导致错误状态报告。当输入为 V_{USB} 或者 V_{ADP} 时，电压拉高到5.0 V，推荐使用一个1.5 k Ω 的电阻。如果数据线拉高到一个少于5.0 V的电压级别时，拉高电阻的计算依据一个3 mA的拉低电流推荐值，使用到以下公式：

$$R_{\text{Pull-up}} \leq \frac{V_{\text{Pull-up}}}{3 \text{ mA}}$$

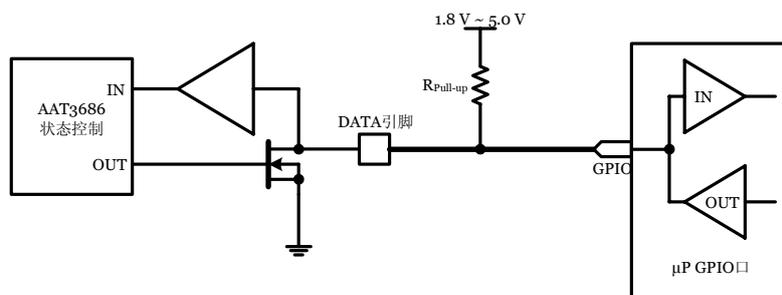


图 8 数据引脚应用电路图

DATA 时序

系统微控制器应该使用一个最小 200 ns 的低电平有效请求脉冲；这个定义成 SQ_{PULSE} 。根据感知数据请求脉冲末端的上升沿，AAT3686 状态控制将会经过一个数据报告时间规格 $T_{\text{DATA(RPT)}}$ 的延迟，回复数据字到系统微控制器。这组数据脉冲的周期由 T_{DATA} 规格来定义，如图 9。

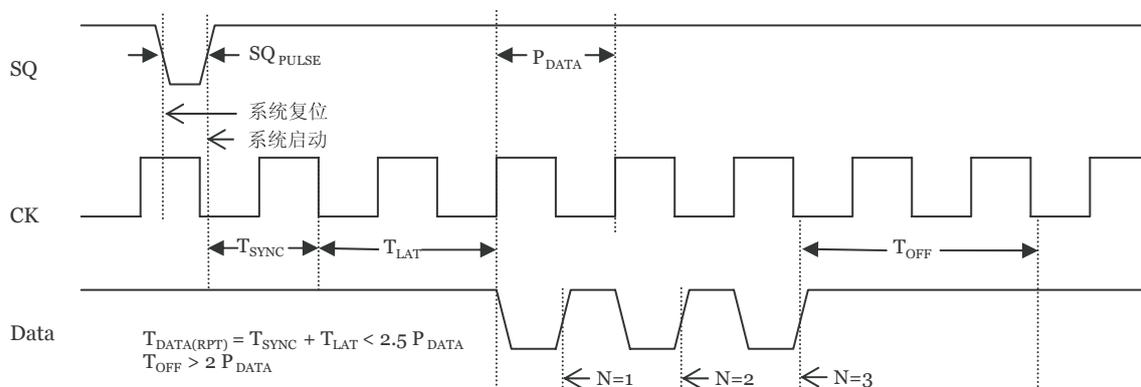


图 9 数据脉冲时序图

热考虑

AAT3686 提供 $4 \times 4 \text{ mm}^2$ TDFN封装，当它放在PCB板合适的位置，可以提供最高 2.7 W 的功率损耗和最大大约 37 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 的热阻。有很多需要重视的地方，如电路PCB板的布局和接近设计中的其他产生热量器件的充电IC的摆放。充电IC周围的温度将会直接影响到电池充电应用的温度限制。通过以下的讨论，将给出一个期望的周围环境温度的最大限制。

首先，给定的最大功耗可以通过以下公式计算：

$$\text{公式 1: } P_D = [(V_{\text{IN}} - V_{\text{BAT}})I_{\text{CC}} + V_{\text{IN}}I_{\text{OP}}]$$

这里，

P_D = 器件的总功率耗散；

$V_{IN} = V_{ADP}$ 或者 V_{USB} ，取决于模式的选择；
 $V_{BAT} = \text{BAT}$ 引脚的电池电压；
 $I_{CC} =$ 设计中设置的最大快速恒流充电电流；
 $I_{OP} =$ 充电IC一般操作时消耗的静态电流。

接下来，一个给定应用的周围操作温度可以通过 4×4 TDFN 封装的热阻来估算，当 IC 充分的摆放在 PCB 板上并且未达到内部热温循环阈值。

$$\text{公式 2: } T_A = T_J - (\theta_{JA} P_D)$$

这里，

$T_A =$ 周围摄氏温度；
 $T_J =$ 最大器件节点温度，在热温循环阈值以下；
 $P_D =$ 器件的总功率耗散；
 $\theta_{JA} =$ 封装热阻， $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 。

举例说明：

在一个适配器输入快速恒流充电 1 A， $V_{ADP} = 5.0 \text{ V}$ 的应用中，在电池电压为 3.0 V的最差条件下，当达到温度极限时，周围温度实际上最大是多少呢？

给定：

$V_{ADP} = 5.0 \text{ V}$ ； $V_{BAT} = 3.0 \text{ V}$ ； $I_{CC} = 1 \text{ A}$ ； $I_{OP} = 0.75 \text{ mA}$ ； $T_J = 110 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ； $\theta_{JA} = 37 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 。
使用公式 3，计算出稳定状态下的器件功率耗散：

$$\text{公式 3: } P_D = [(5.0 \text{ V} - 3.0 \text{ V}) \times 1 \text{ A} + 5.0 \text{ V} \times 0.75 \text{ mA}] = 2.00375 \text{ W}$$

在 AAT3686 热温循环启动之前的最大周围温度可以通过公式 4 得出：

$$\text{公式 4: } T_A = 110 \text{ }^{\circ}\text{C} - (37 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{W} \times 2.00375 \text{ W}) = 35.86 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

因此，在这种功率耗散的最坏情况下，AAT3686 将会进入热温循环并且在周围温度高于 35.86 $^{\circ}\text{C}$ 时降低快速恒流充电电流。

电容的选择

输入电容

一般而言，最好在 V_{ADP} 、 V_{USB} 和GND之间摆放一个解耦电容。推荐输入电容的范围为 1 μF 到 22 μF 。如果电压源不稳定，那么在开启器件和电池充电初始化时，需要增加电容来维持输入电压在UVLO之上。

如果AAT3686 适配器输入使用外部电压源，如一个典型的AC-DC插头式电源，这样的话 C_{IN} 就需要用到 10 μF 左右的电容。在这个应用中，较大的输入电容将会减少电源“热插入”时的开关或者能量反射影响。同样的，推荐使用 10 μF 或者更大输入的电容来减缓USB源的开关的影响，减少噪音和输入缆线阻抗。

输出电容

AAT3686 只需要一个 1 μF 的陶瓷电容接在 BAT 引脚上来维持电路稳定性。如果电池连接到充电器的长度为任意的，那么这个值可以增加至 10 μF 或者更多。如果 AAT3686 所在的应用中，电池可以从充电器上移走，如桌面充电支架形，输出电容需要大于 10 μF ，阻止当没有电池的时候，器件循环导通关断。

印刷电路板布局考虑

为了达到最好的效果，建议电池包尽可能靠近 AAT3686 的 BAT 引脚。为了最小化 PCB 板上的电压差，需要保持大电流迹线足够宽。为了使 AAT3686 的 TDFN 封装功率耗散的最大化，金属底板需要焊接在板上。同样推荐最大化底板和 PCB 地的连接来改进散热。请参考 AAT3686 评估板布局。

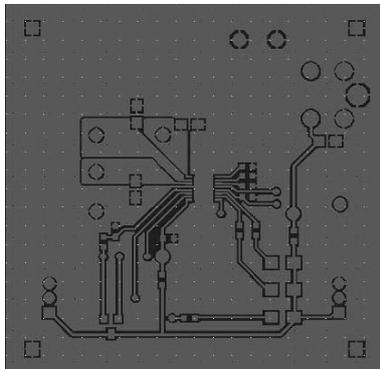


图 10 AAT3686 评估板组件布局

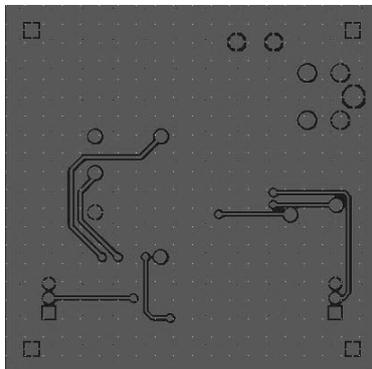


图 11 AAT3686 评估板焊盘布局

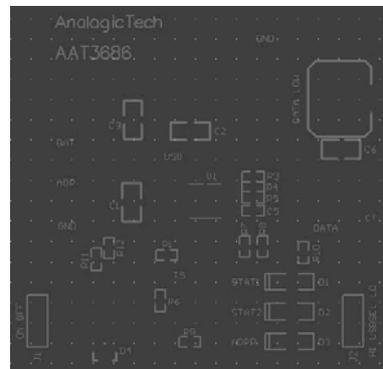


图 12 AAT3686 评估板组合布局

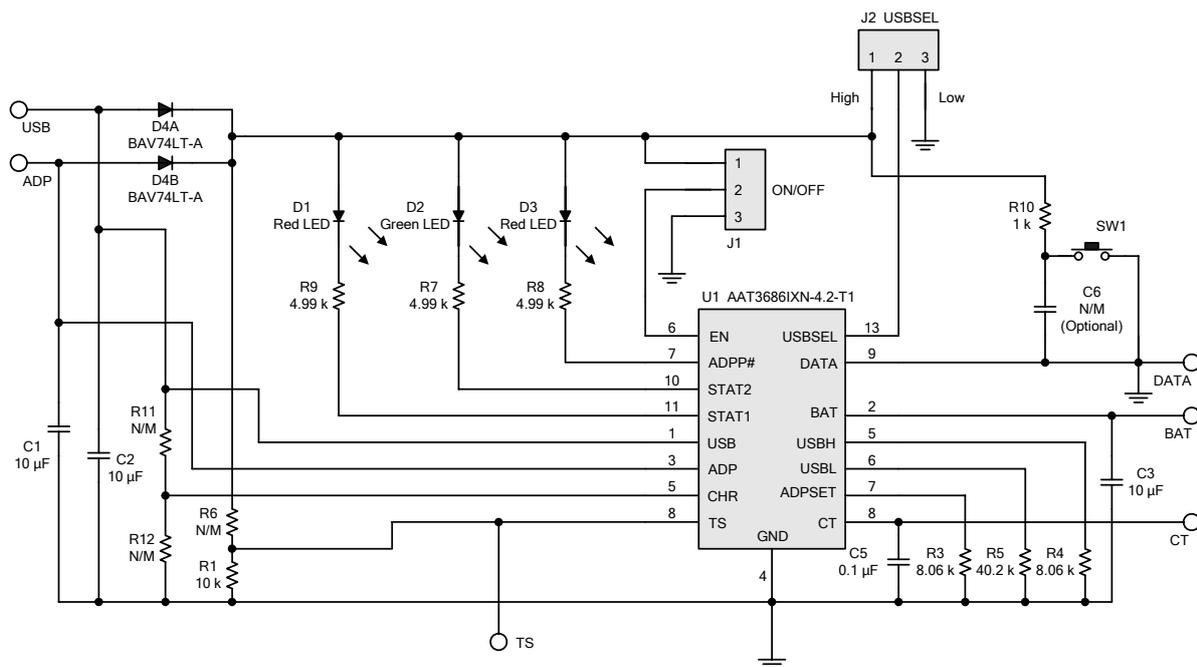


图 13 AAT3686 评估板电路原理图

AAT3686 评估板材料清单 (BOM)

数量	说明	设计	封装	制造商	料号
2	测试点	TS, CT		Mill-Max	6821-0-0001-00-08-0
2	Conn Term Block ,2.54 mm 2POS	USB, GND/ADP , GND	TBLOK2	Phoenix Contact	277-1274-ND
1	Conn Term Block ,2.54 mm 3POS	BAT, TS, GND	TBLOK3	Phoenix Contact	277-1273-ND
1	USB 2.0 插座, 5POS	USB	USB-Mini-B	Hirose Electronic Co., Ltd.	H2959CT-ND
3	陶瓷电容, 10 μ F 6.3 V 10% X5R 0805	C1, C2, C3	0805	Murata	490-1717-1-ND
1	陶瓷电容, 0.1 μ F 25 V 10% X5R 0603	C5	0603	Murata	478-1244-2-ND
2	红色 LED	D1, D3	1206LED	Chicago Miniature Lamp	CMD15-21SRC/TR8
1	绿色 LED	D2	1206 LED	Chicago Miniature Lamp	CMD15-21SRC/TR8
1	开关二极管	D4	SOT23-3	On Semi	BAV74LT1
2	接头, 3 脚	J1, J2	Header 2mm-3	Sullins	6821-0-0001-00-08-0
1	RES 10 k Ω 1/16W 5% 0603 SMD	R1	0603	Panasonic/ECG	P10KJTR-ND
2	RES 8.06 k Ω 1/16W 5% 0603 SMD	R3, R4	0603	Panasonic/ECG	P8.06KLCT-ND
1	RES 40.2 k Ω 1/16W 5% 0603 SMD	R5	0603	Panasonic/ECG	P40.2KLCT-ND
1	RES 4.99 k Ω 1/16W 5% 0603 SMD	R7, R8, R9	0603	Panasonic/ECG	P4.99KLCT-ND
1	RES 1.0 k Ω 1/16W 5% 0603 SMD	R10	0603	Panasonic/ECG	P1.0KJCT-ND
1	开关, 6 mm, SPST H = 5.0 mm	SW1	Switch	ITT Industries/C&K Div	CKN9012-ND
1	AAT3686	U1	TDFN44-16	AnalogicTech	AAT3686IXN-4.2-T1

订购信息

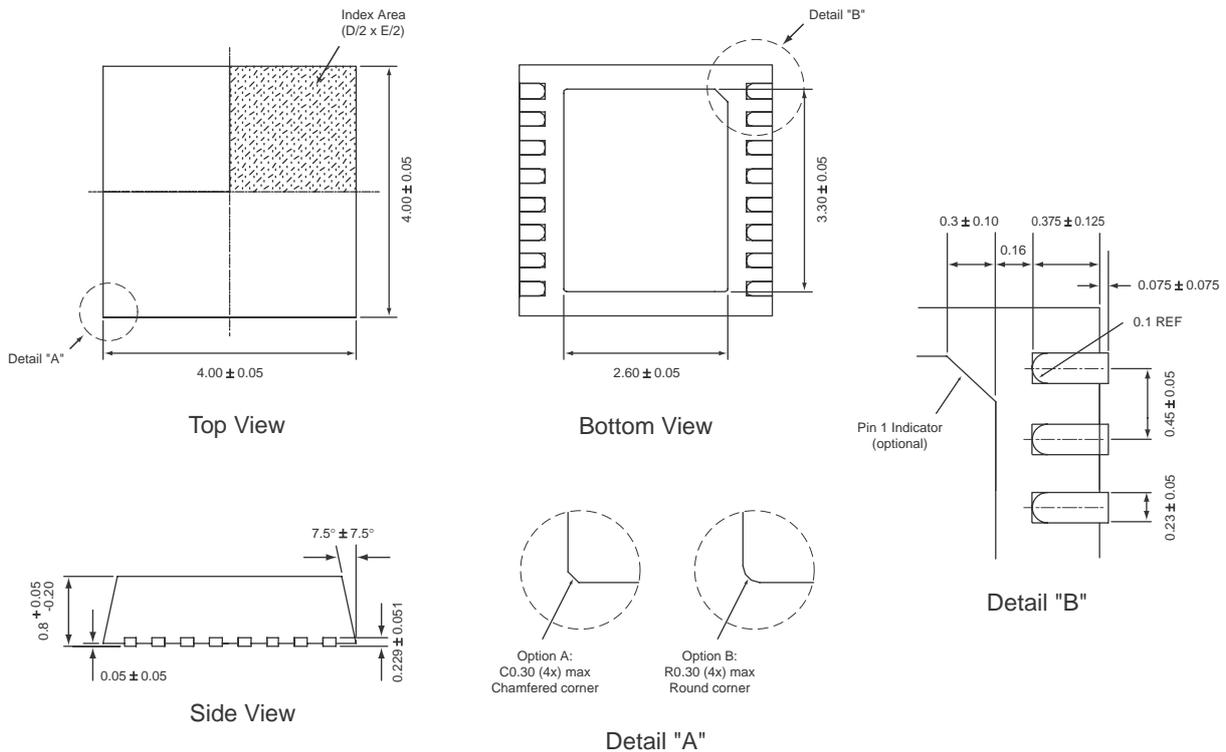
封装	器件标记 ¹	料号 (每卷) ²
TDFN44-16	PHXY	AAT3686IXN-4.2-T1



所有AnalogicTech™产品都提供无铅封装。“Pb-Free”条件意味着半导体产品依照现行RoHS标准，包括在同类材料中对铅的重量的需求不超过0.1%。欲了解更多信息，请访问我们的网站：
<http://www.analogictech.com/pbfree>。

封装信息

TDFN44-16



所有尺寸单位均为毫米 (mm)。

1. XXX = 封装和日期码;
2. 样品仓库通常将可申请的料号加粗。

附录A: AnalogicTech™充电芯片比较简表

料号	充电电压 (V)		充电方式		外部器件		状态指示	
	4.2	8.4	USB	适配器	阻断二极管	传输器件	数字式	LED
AAT3680	●			●	●	●		●
AAT3682	●			●	●			●
AAT3686	●		●	●			●	●
AAT3687	●			●			●	●
AAT3688	●		●				●	●

美国研诺逻辑科技有限公司上海代表处
中国上海市长宁区兆丰世贸大厦
江苏路 369 号 14 楼 D 座 200050
电话: +86-21-52398806 ext. 220
传真: +86-21-52398802
<http://www.analogictech.com>

AAT3686 中文规格书 3686.2005.11.1.1

11/15/2005 CN

Steven Wang