高精度单节锂电池充电控制及干电池转换电路

特性

- 锂电池充电和放电双向控制
- 转换至干电池电压，高达 2A 输出电流
- 输出干电池电压随锂电池电压线性变化
- 高达 90%的转换效率
- 内部集成低导通阻抗开关/整流 MOSFET：$R_{ds(on)}$ <120mΩ
- 固定工作频率电流模式 PWM：f=1.5MHz
- 静态工作电流：12uA
- 电池低电压保护：V_{OD}=2.8V
- 过流保护 OCP 和过热保护 OTP
- 4.5V~6.5V 充电器电压范围
- 高达 800mA 的可调充电电流
- 高于 1%的电压精度
- LED 充电状态指示
- 电池低电压时以涓流充电
- 电池充满后保持恒压充电
- 软启动以防止浪涌电流
- 电池短路保护
- 极少的外围元器件
- 小型化的 DFN3*3-8L 封装

应用

- 单节锂电池供电的消费类电子设备

概述

当HM5706工作于开关电源模式（DC/DC）时，是一款高效率的直流降压转换电路，内置一个 P-MOS 开关管和 N-MOS 同步整流管。在一定的负载下，HM5706 工作于脉冲宽度调制（PWM）模式；轻载时工作于脉冲频率调制（PFM）模式。可以保证在 2.8V~5.5V 的输入电压（V_{BAT}）范围内工作，其输出电压线性比例于输入电压（V_{BAT}/2.8，但不超过 1.5V）。其最大输出电流大于 2A，但静态电流仅仅是 10μA 。在正常工作范围下，HM5706一直可以保证高效率，最高可达 90% 以上。

同时,HM5706集过电流保护、过电压保护、过温保护、电池过放保护、欠压锁定等功能于一身。

当HM5706 工作于充电控制模式（Charge）时，是一款高精度的线性单节锂电池充电管理电路。它集高精度恒定电流充电、恒定电压充电、电池状态检测、温度保护、充电结束低泄漏、充电状态指示等性能于一身。HM5706通过检测电池电压来决定其充电状态：涓流充电、预充电、恒流充电、恒压充电。

当电池电压小于短路保护阈值 V_{SHORT}（典型值为 1.4V）时，处于涓流充电状态，以极小的电流对电池进行预处理，如果此涓流充电可以使电池电压升高至 V_{SHORT}，则进入下一步预充电状态。预充电阶段，以较小的电流对电池进行充电，当电池电压达到预充电阈值 V_{PRE}（典型值为 3V）后，将进入下一步恒定电流充电状态。恒定电流充电阶段，将以较大的充电电流 I_{REG} 对电池进行充电，当电池电压上升到恒定电压充电阈值 V_{REG}（典型值为 4.2V）时，将进入下一步恒定电压充电状态。在恒定电压充电状态，充电电流将逐渐减小，当充电电流小于阈值 I_{TERM}，充电状态指示端（VLED）给出充电结束信号，但仍以更小的电流对电池继续进行充电。

以上各充电阶段的充电电流与恒定电流充电电流值（I_{CHG}）成固定比例，I_{CHG} 可以通过外围设定电阻（R_{PROG}）来设定。恒定电压充电阈值 V_{REG} 的精度优于±1%。

HM5706采用小型的 8 引脚的DFN3*3封装，只需极少的外围器件。非常适合那些对 PCB 空间较高，使用单节锂电池供电的消费类电子设备。

典型应用电路图

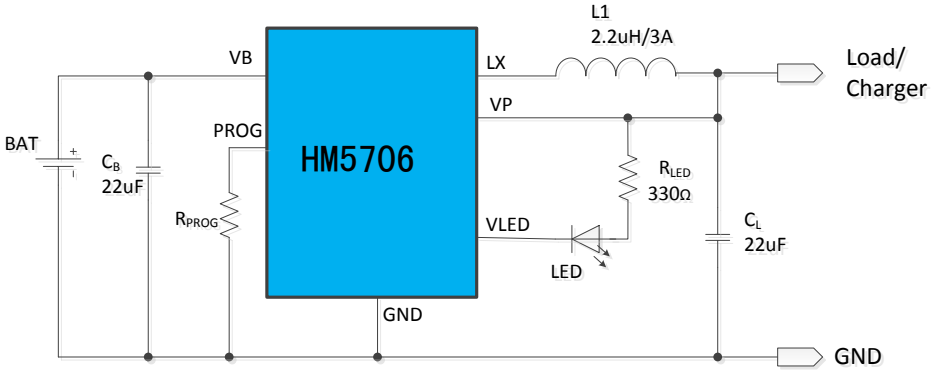

图-1 典型应用电路图

订购信息

［表-1］订购信息

型号	封装形式	管脚数目	充电电压	DC/DC 输出电压	打印标记
HM5706	DFN3*3-8L	8	4.2V	V_{BAT}/2.8 (V_{BAT}<4.2V) 1.5V (V_{BAT}≥4.2V)	HM5706

管脚排列

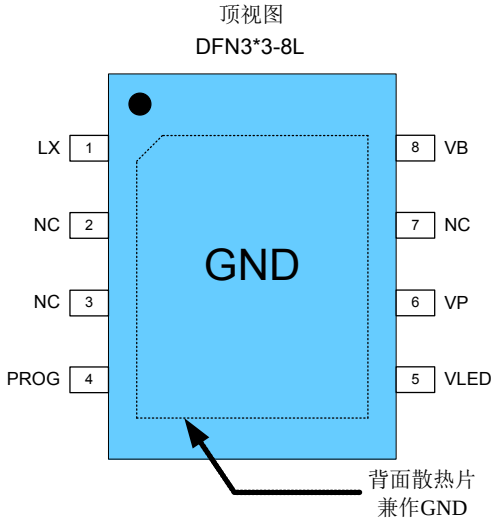

图-2 HM5706 管脚排列（不成比例）

引脚描述

［表-2］引脚描述

引脚名称	引脚序号	I/O	引脚功能
LX	1	I/O	**开关引脚** 外部连接电感，内部与开关 MOSFET 连接。
NC	2、3、7	--	悬空。
PROG	4	I/O	**充电电流设置和关断引脚** 外部连接一个电阻可以设置充电电流值； 充电模式下，断开该引脚的连接，电路进入关断状态，可以使电池的漏电流低于 1μA，充电器电流小于 50μA。
VLED	5	I/O	**充电状态指示端** 开漏充电状态指示端，用来区分电路的不同充电状态。该引脚可通过一个电阻与指示发光二极管连接。
VP	6	POW	**充电器/负载连接端** 电路工作在充电管理模式下，该引脚连接充电器的正极；电路工作在 DC/DC 模式下，该引脚连接负载的正极。 该引脚外部需要连接一个负载电容 C_L。
VB	8	POW	**电池连接端** 该引脚与外部电池的正极连接。同时，外部需要连接一个输入电容 C_B。
GND	EP	POW	**接地端** 该引脚与电池的负极、充电器或负载的负极连接。 该引脚最好与 PCB 上大面积敷铜连接，以保证散热。

极限参数

VB、VP、VLED 输入电压..... -0.3V~+7V

PROG 输入电压 .....-0.3V~VP+0.3V

LX 输入电压 .....-0.3V~VB+0.3V

工作温度 T_A.....-40℃~+85℃

结温.....150℃

功耗 P_D（T_A=25℃）

DFN3*3-8L（θ_{JA}=50℃/W） 2.5W

贮存温度..... -65℃~150℃

焊接温度（锡焊，10 秒）.....260℃

ESD 保护（人体模式） 7kV

注：超出所列的极限参数可能导致器件的永久性损坏。以上给出的仅仅是极限范围，在这样的极限条件下工作，器件的技术指标将得不到保证，长期在这种条件下还会影响器件的可靠性。

电气参数

(除非特别注明，典型值的测试条件为：VP = 5.0V，VB=3.6V，T_A = 25℃。)

[表-3] 电气参数

参数名称	符号	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
开关电源工作模式（DC/DC）						
VB 端输入电压	V_{BAT}		2.8		5.5	V
VP 输出电压	V_{OUT}	V_{BAT}＜4.2V		V_{BAT}/2.8		V
		V_{BAT}≥4.2V		1.5		
负载调整率	$\Delta V_{OUT}/V_{OUT}$	I_{OUT} =100mA~2000mA		0.0015		%/mA
最大输出电流	I_{OUT_MAX}		2000			mA
效率	η				92	%
无负载时工作电流	I_Q	I_{OUT}=0mA		10		μA
电流限制	I_{LIM}		2.5			A
开关频率	f_S		1.0	1.5	2.0	MHz
P-MOS 管导通电阻	R_{PON}	V_{BAT}=3.6V，I_{LX}=200mA		0.12		Ω
N-MOS 管导通电阻	R_{NON}	V_{BAT}=3.6V，I_{LX}=200mA		0.12		Ω
LX 端漏电流	I_{LKG}	V_{OUT}=V_{LX}=2.0V			1.0	μA
		V_{BAT}=2.0V，V_{LX}=0	-1.0			
软启动时间	T_{SS}			100		us
过放保护电压	V_{OD}	V_{BAT} 由高到低	2.72	2.8	2.88	V
过放保护延迟时间	T_{OD}	V_{BAT}=3.6V→2.0V	80	100	120	ms
过放恢复电压	V_{ODR}	V_{BAT} 由低到高	2.92	3.0	3.08	V
过放恢复延迟时间	T_{ODR}	V_{BAT}=2.0→3.6V	24	30	36	ms
过放保护工作电流	I_{SLEEP}	V_{BAT}=2.0V		400		nA
充电管理工作模式（Charge）						
VP 端供电电源	V_{VP}		3.8		6.5	V
充电器过压保护阈值	$V_{VP\text{-}OVH}$			5.8		V
充电器过压恢复阈值	$V_{VP\text{-}OVL}$			5.6		V
VP 输入电压欠压锁定阈值	V_{UVH}			3.8		V
	V_{UVL}			3.6		V
VP 端工作电流	I_{VP}	充电, R_{PROG}=10K		300		μA
		充电结束，V_{VB}>V_{REG}		65		μA

参数名称	符号	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
		关断模式（未连接 R_{PROG}） V_{VB}=1.5V~4.2V		20		μA
VB 端恒流充电电流	I_{CHG}	V_{VB}=3.6V, R_{PROG}=2K		500		mA
		V_{VB}=3.6V, R_{PROG}=5K		200		
VB 端电池电流	I_{VB}	充电结束，V_{VB}>V_{REG}			-1	μA
		关断模式（未连接 R_{PROG}） V_{VB}=1.5V~4.2V			-1	μA
充电电压	V_{REG}	R_{PROG}=10K，I_{VB}=40mA	4.158	4.2	4.242	V
预充电电压阈值	V_{PREH}			3.0		V
	V_{PREL}			2.8		V
输出短路电压阈值	V_{SHORT}			1.4		V
电池短路时充电电流	$I_{SHORT-CHG}$			3.3%*I_{CHG}		
预充电电流	$I_{PRE-CHG}$			10%*I_{CHG}		
输出电流设定电压	V_{PROG}			1		V
输出电流设定系数	K_{SET}			1000		
VLED 端输出电压	V_{VLED}	I_{VLED} =10mA		70		mV
充电结束延时时间	T_{TERM}			1		ms
PROG 端上拉电流	I_{PROG}			1		μA
调整管 PMOS 导通电阻	R_{ON}	I_{VB}=100mA，V_{VP}=4.2V		1		Ω
V_{VP}-V_B 欠压电压阈值	V_{ASDH}	V_{CC} 低-〉高		100		mV
	V_{ASDL}	V_{CC} 高-〉低		30		mV
充电结束信号电流阈值	I_{TERM}			10%* I_{CHG}		
芯片过热保护（OTP）						
过热保护阈值	T_{OTP}			140		℃
过热保护恢复迟滞	$T_{OTP-HYS}$			40		℃

功能框图

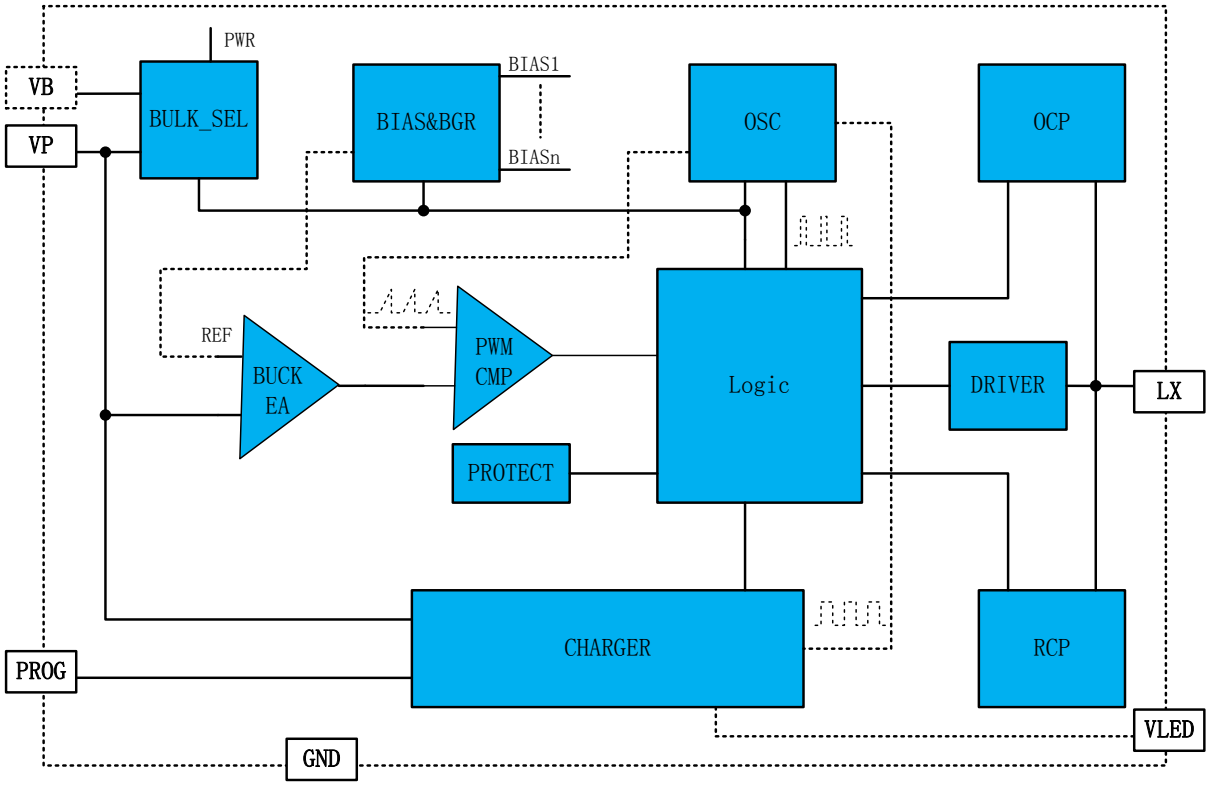

图-3 HM5706 功能框图

典型工作特性

(除非特别注明，VB=3.6V，L1=2.2μH，C_B=22μF，C_L=22μF，C_B 和 C_L 为陶瓷电容，R1=2.0K，T_A=25℃。负载响应测试时，t_{RISE}=t_{FALL}=5μs。)

DC/DC 工作模式

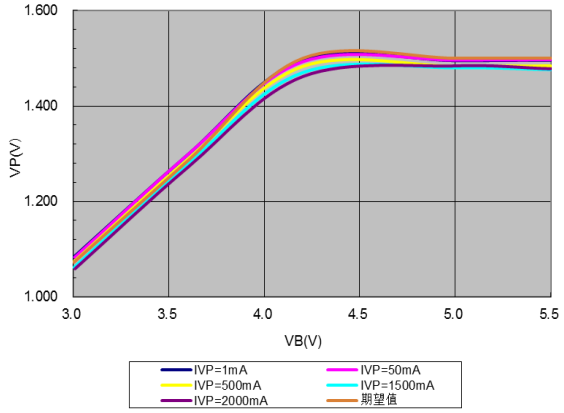

图-4 电压调整率

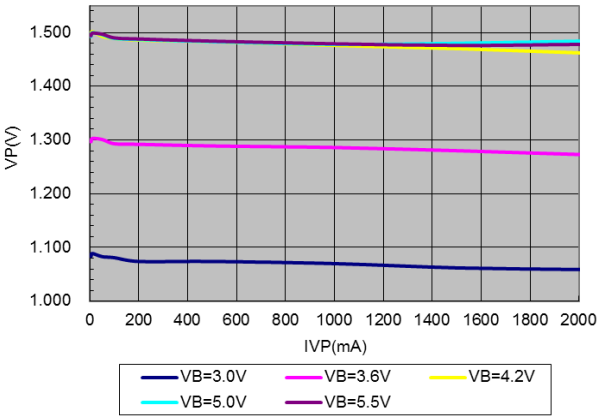

图-5 负载调整率

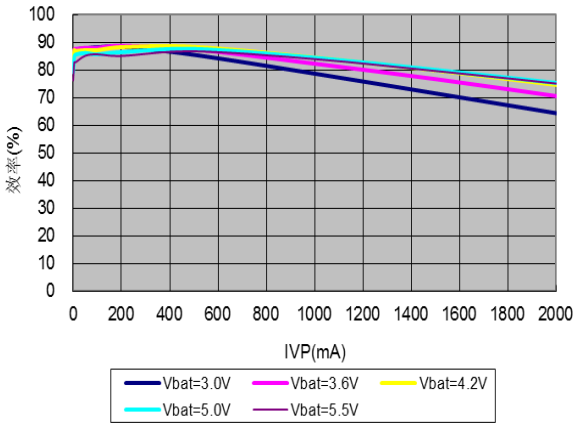

图-6 效率 vs. 负载电流

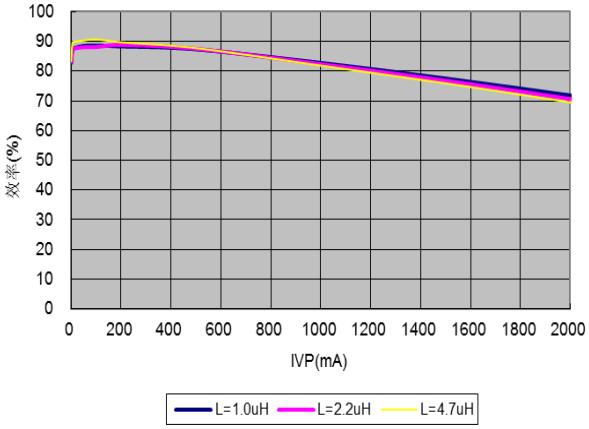

图-7 效率 vs. 负载电流

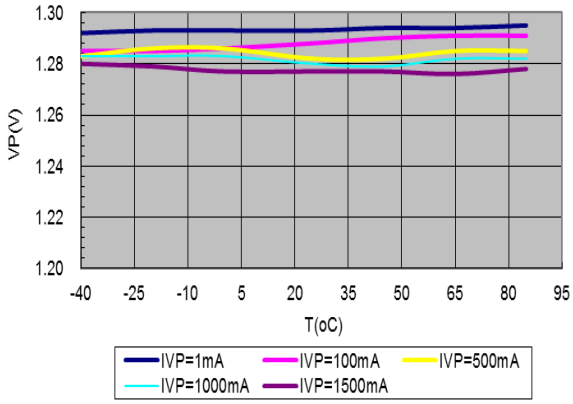

图-8 输出电压 vs. 温度

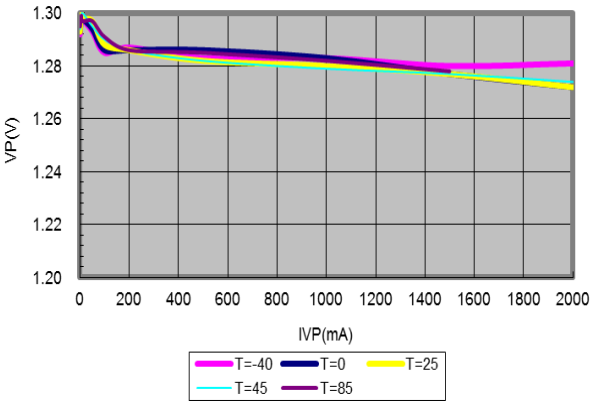

图-9 负载调整率

IVP=1mA~500mA
CH1: VP Ripple, CH3: VP Current

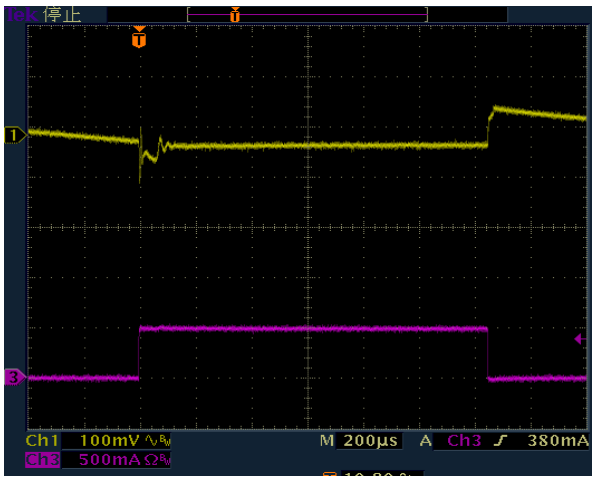

图-10 负载响应

IVP=1mA~2000mA
CH1: VP Ripple, CH3: VP Current

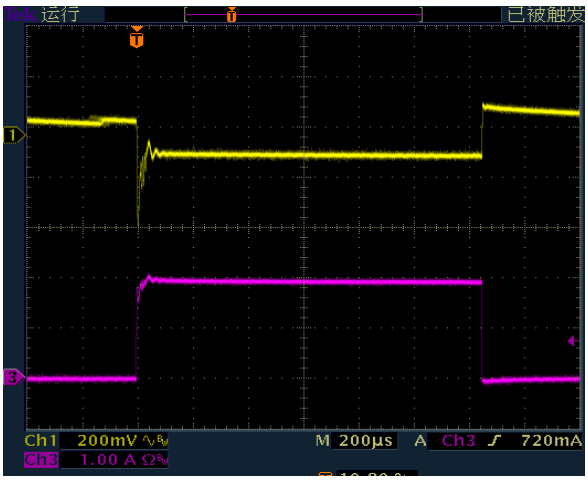

图-11 负载响应

IVP=500mA~2000mA
CH1: VP Ripple, CH3: VP Current

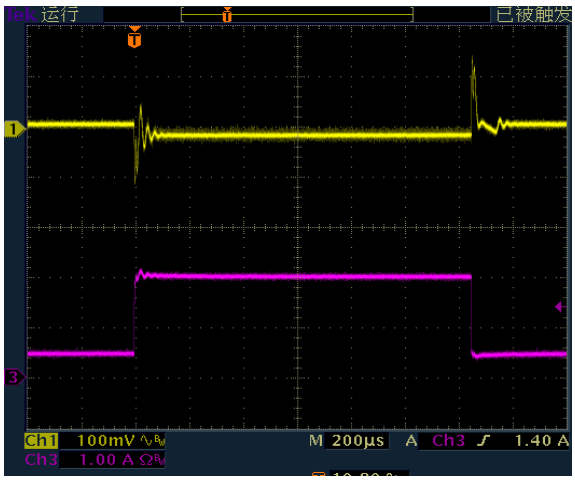

图-12 负载响应

VP 短路到 GND
CH1：LX 端波形

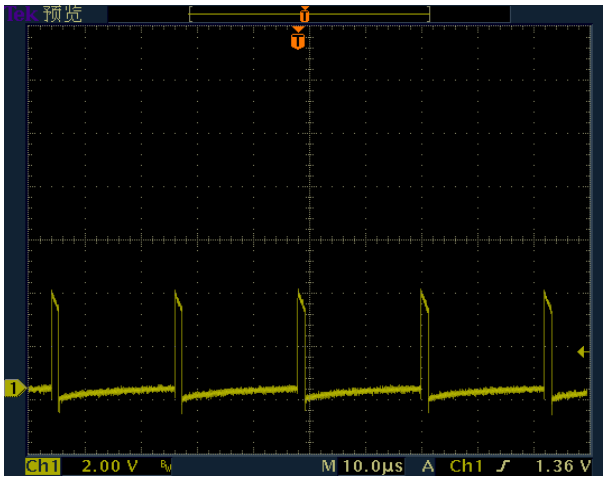

图-13 Hiccup 工作波形

充电管路模式（除非特别说明，VP=5.0V）

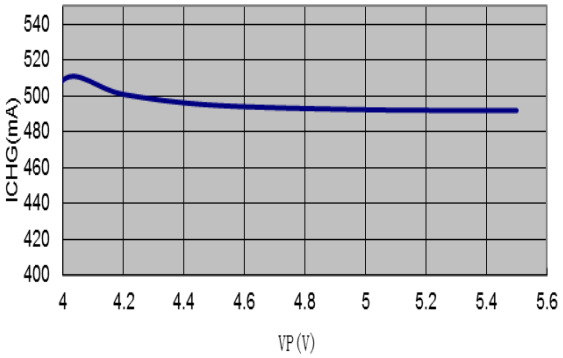

图-14 I_{CHG} vs. VP

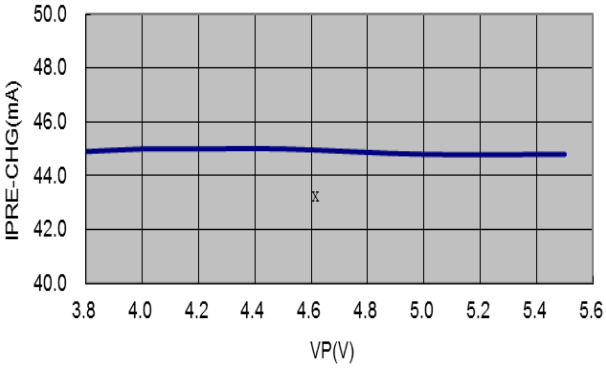

图-15 $V_{PRE-CHG}$ vs. VP

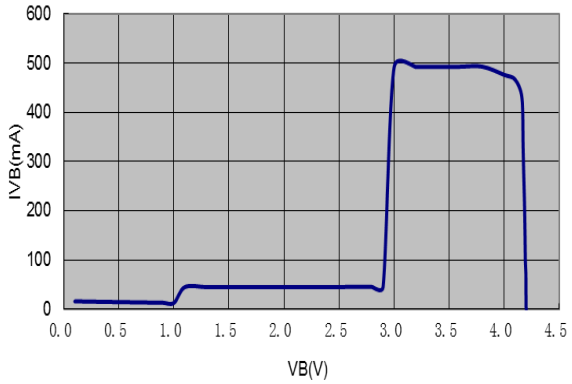

图-16 充电电流 vs.电池电压

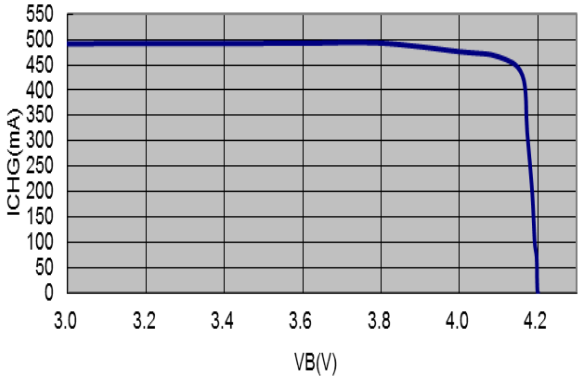

图-17 I_{CHG} vs. VB

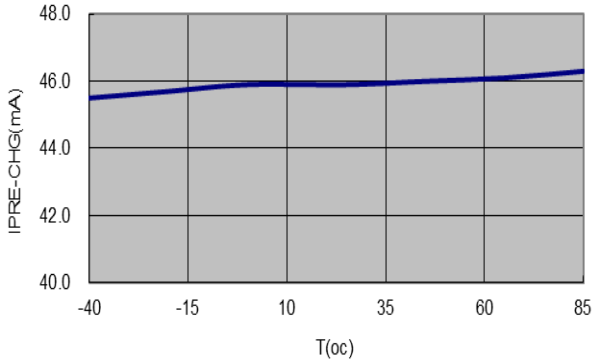

图-18 $I_{PRE-CHG}$ vs. 温度

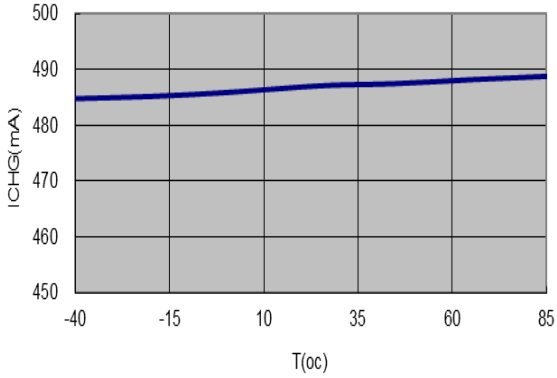

图-19 I_{CHG} vs. 温度

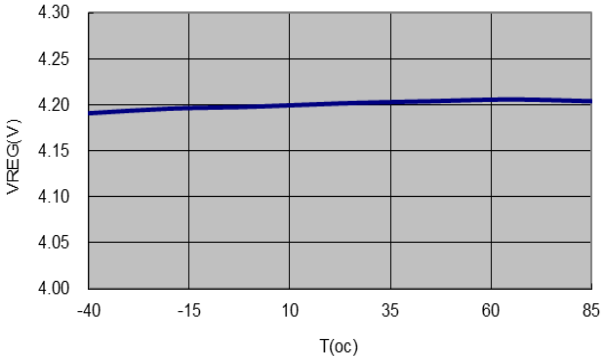

图-20 V_{REG} vs. 温度

功能描述

工作模式判定

HM5706 根据 VP 端的电压 V_{VP} 来判断其工作模式。

当 V_{VP} 小于欠压锁定阈值 V_{UVH} 或只接有无源负载时， HM5706 工作于开关电源模式（DC/DC 模式），其功能是将 VB 端的单节锂电池电压转变为单节干电池的输出电压，并从 VP 端输出。

当 V_{VP} 大于欠压锁定阈值 V_{UVH} 时，HM5706 工作于充电管理模式（Charge 模式），其功能是以 VP 端电压作为工作电源，对 VB 端的单节锂电池进行线性充电。

DC/DC 工作模式

HM5706 是通过内部 P-MOS 主开关管和 N-MOS 同步整流管来回切换导通/截止和外部电感（L1）、输出电容（C_L）来共同实现降压的目的。

在正常状态下，HM5706 的工作模式为 PWM 模式，在此模式中工作频率保持恒定。由于 HM5706 内部有电流型反馈补偿电路，使芯片不需要外接补偿元件；HM5706 还采用了前馈电路，以提高电路的电压瞬态响应性能。在内部波形发生器产生的锯齿波的下降沿，P-MOS 管开启；当 PWM 比较器翻转或过电压保护条件发生或电流限制条件发生时，P-MOS 管将被关闭，N-MOS 管开启。当 P-MOS 管重新开启或监测到反向电流时，N-MOS 管将被关闭。

如果监测到反向电流且电感最大电流低于 100mA，HM5706 将进入 PFM 模式，由此减小轻载时的工作电流。无负载时，其工作电流将减小到 12μA。

1)、过电流保护(OCP)

HM5706 工作于 DC/DC 模式时，其内部过电流保护电路一直监视通过 P-MOS 管的电流。当此电流大于电流限制值（I_{LIM}）时，P-MOS 管将被关闭，防止电感电流进一步增加；在下一个脉冲，如果 P-MOS 管电流已经小于电流限制值（I_{LIM}），芯片将从过电流保护状态恢复到正常工作。但是，一旦再次发生过电流情况，P-MOS 管会即时被关闭，并重新进入过电流保护状态。

2)、短路保护

当 VP 端短路至地时， HM5706 将进入降频工作模式（Hiccup 模式），通过降低电路的工作频率，来大大减少 VP 端的输入电流，同时有效的降低电路的发热。

短路故障去除后，电路会立刻进入正常的 DC/DC 工作模式。

3)、同步整流管

HM5706 内部提供了一个 N-MOS 同步整流管，这样，可以使外部无需额外的肖特基整流二极管，同时 N-MOS 管的导通压降要低于通常的肖特基整流二极管，从而提高电路的效率。

4)、过热保护 (OTP)

当 HM5706电路内部 温度超过过热保护阈值（T_{OTP}）时，电路将关闭 P-MOS 和 N-MOS 管，禁止输出电压；当芯片工作温度降至过热保护恢复阈值（T_{OTP}-$T_{OTP-HYS}$）时，电路将回到正常工作状态，下一个周期 P-MOS 将自动开启。

充电管理工作模式

当 VP 端电压（V_{VP}）高于 V_{UVH} 阈值，且 VP 电压大于电池电压（V_{VP}>V_{VB}）时， HM5706 即开始一个充电周期。

如果 VB 端电压小于电池短路电压（V_{SHORT}），电池将进入涓流充电状态，在该状态下，电池的充电电流为所设定充电电流（I_{CHG}）的 1/30，对电池进行安全预处理。

如果涓流充电可以使电池电压升高至 V_{SHORT} 之上，则电池将进入预充电状态，该状态下电池的充电电流为所设定充电电流的 1/10，使电池电压提高至安全的水平，以进行全电流充电。

当 VB 端电压大于 3V 时，充电器将进入恒定电流充电模式，给电池提供所设定充电电流。当 BAT 端电压接近充电电压值（4.2V）时， HM5706 进入恒定电压充电模式，充电电流开始下降。当充电电流下降至所设定充电电流的 1/10 时，电路在 VLED 端给出充电结束信号，表示电池已经充满，但仍然会以更小的充电电流继续给电池充电。此时，可以认为一个充电周期结束。

1)、设定充电电流

PROG 端和 GND 端之间连接一个精度为 1%电阻来可以调整充电电流。电池充电电流是 PROG 端输出电流的 1000 倍。R_{PROG} 电阻和充电电流可以由下式来决定：

$$R_{PROG} = \frac{1000V}{I_{CHG}}, I_{CHG} = \frac{1000V}{R_{PROG}}$$

通过实时监控 PROG 端电压，可以决定 VB 端的充电电流，其计算公式如下：

$$I_{VB} = \frac{V_{PROG}}{R_{PROG}} \times 1000$$

2)、充电结束

当 VB 端电压达到充电电压值（V_{REG}）后，充电电流下降至所设定充电电流的 1/10 时，可以认为一个充电周期结束。

充电过程是通过内置比较器检测 PROG 端来实现的。当 PROG 端电压低于 100mV 的时间超过 T_{TERM} (典型值为 1ms)时，HM5706 电路将在 VLED 端给出充电结束信号，此时虽然还会以更小的充电电流对电池充电，但基本可以认为电池已经充满。

3)、充电状态指示（VLED）

HM5706 提供了一个开漏结构输出 VLED 端，外部

通过一个指示灯（LED）和上拉电阻连接到一个高电平。电路根据不同的充电状态，控制 VLED 端的输出（高阻、低电平、方波），通过外接的 LED 指示对应的充电状态，如下表所示。

[表 4] 各充电状态下的 LED 指示情况

充电状态	VB 端悬空	涓流充电/过热保护	预充电/恒流充电/恒压充电	充电结束
LED 指示	常亮	灭	闪烁（1Hz，占空比 50%）	常亮

注意，当 HM5706 工作于 DC/DC 模式时，VLED 端始终呈高阻态。

4）、欠压锁定 (UVLO)

HM5706 内置 UVLO 电路一直检测 VP 端输入电压，在 V_{VP} 升高到 V_{UVH} 阈值之前电路一直工作于 DC/DC 模式。一旦电路进入 Charge 工作模式，则当 VP 端电压低于 V_{UVL} 时，电路才会退出 Charge 模式。

在 Charge 模式中，为了避免内部 MOSFET 中出现反向电流，即使 VP 大于 V_{UVH}，但如果 V_{VP} 小于 V_B+30mV，则内部 UVLO 电路将使电路一直处于关断模式，直至 V_{VP} 大于 V_B+100mV 时，充电器才开始给电池充电。

5）、充电关断控制

在实际使用中， PROG 端可以通过一个 MOSFET 与 R_{PROG} 连接，当外部控制信号使这个 MOSFET 导通时，可以进行正常的充电；当外部控制信号使这个 MOSFET 关闭时，HM5706 就进入关断模式。在关断状态下，电池的漏电流低于 1μA，VP 端电源电流小于 50μA。

6）、过热保护（OTP）

充电模式下，当HM5706电路内部温度超过过热保护阈值（T_{OTP}）时，电路将关闭充电电流回路，降低电路的功耗，以保护电路不至于损坏；当芯片工作温度降至过热保护恢复阈值（T_{OTP}-$T_{OTP-HYS}$）时，电路将回到正常的充电状态。

应用中的几个问题

VB 端电容 C_B 的选择

为了保证电路工作的稳定性，在 VB 端必须连接一个电容。一般情况下，推荐使用 ESR 值小的多层陶瓷电容，电容材质选用 X5R 或 X7R，推荐的电容容量为 22uF。

在 PCB 板布线的时候，要求 C_B 电容与电路的 VB 引脚和 GND 引脚形成的环路尽量短。

VP 端电容 C_L 的选择

为了保证电路的正常工作，以及在 DC/DC 工作模式下，获得较小纹波的输出电压，合适选用 VP 端电容 C_L 就显得非常重要。一般情况下，推荐选用 ESR 值小的多层陶瓷电容，电容材质仍然使用温度特性较好的 X5R 或 X7R，推荐 22uF/10V 的电容作为 C_L。

在 PCB 布线时，应该使 C_L 电容与电路的 VP 引脚和 GND 引脚形成的环路尽量短，同时布线尽量的宽。

电感 L1 的选择

在 DC/DC 工作模式下，通过电感可以给负载提供持续的电流。电感电流也有纹波，其纹波电流与电感值的大小有关，电感值越大，纹波电流的峰峰值越小。但是，随着电感值的增大，其电感尺寸和导通电阻也会增大。同时，要确保电感在输出电流达到电流限制值（I_{LIM}）时不会饱和。

为了获得更好的效率，最好选择导通电阻小的电感。虽然电感的磁芯对效率的影响比导通电阻小，但是也要选择适当的磁芯。建议选择 2.2μF/3A 的电感。

在 PCB 布线时，应该使 L1 电感与电路的 LX 引脚和 VP 引脚形成的环路尽量短，同时布线尽量的宽。

封装尺寸

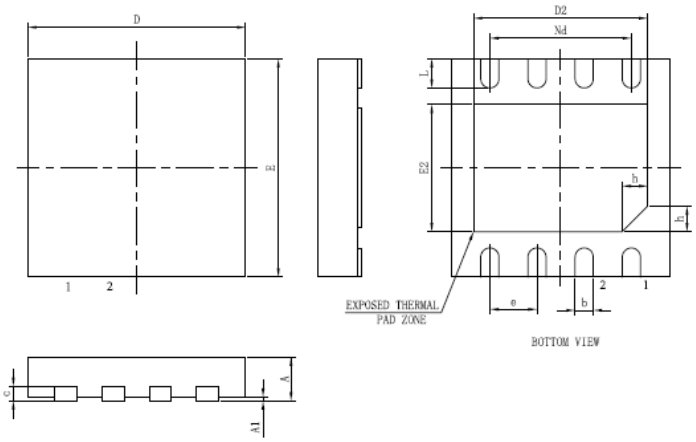

图-21 HM5706 DFN3*3-8L 外型封装尺寸图

[表-5] 图-21 的尺寸（单位：毫米）

符号	最小值	典型值	最大值
A	0.70	0.75	0.80
A1	--	0.02	0.05
b	0.25	0.30	0.35
c	0.18	0.20	0.25
D	2.90	3.00	3.10
D2	2.40	2.50	2.60
e	0.65BSC		
Nd	1.95BSC		
E	2.90	3.00	3.10
E2	1.45	1.55	1.65
L	0.30	0.40	0.50
h	0.20	0.25	0.30