

## 原边反馈控制芯片 P系列IC 的设计和应用指南

## 摘要

这份应用资料介绍了P系列IC原边反馈控制芯片及其应用电路。详细描述了它的特点和工作原理，并结合实际的应用方案介绍外围电路的设计流程。

## 应用范围

电池充电器  
开关电源的最佳选择

## 特点

无需副边反馈的恒压(CV)和恒流(CC)控制  
节能模式：脉冲频率调制控制模式(PFM)  
内置抖频来降低 EMI  
每一个开关周期的电流限制  
过压保护(OVP)  
欠压锁定(UVLO)  
过温保护(OTP)  
输出线损补偿  
输入线电压补偿提高输出电流精度  
驱动能力可调

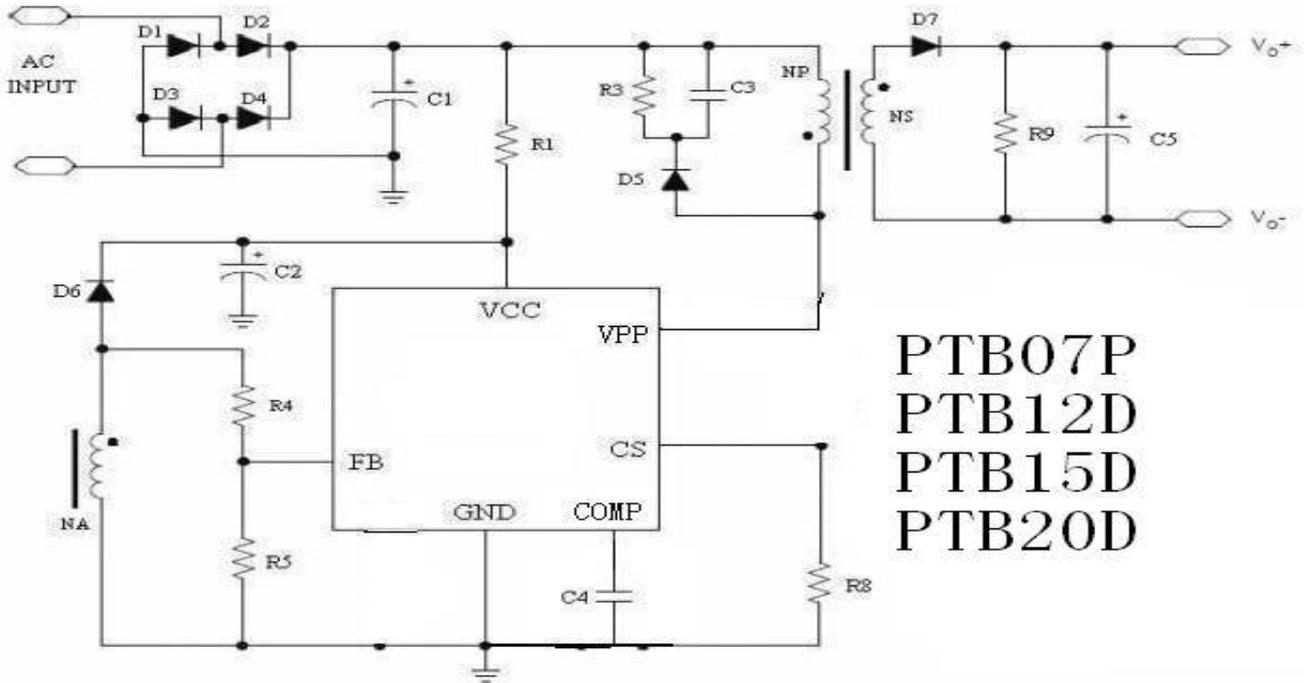
## IC芯片应用分类：

芯片型号	线损补偿功能	封装	适用产品范围
PTB07P(内置MOS管)	内置默认	SOP-8	7.5W以内
PTB12D(内置MOS管)	内置默认	DIP-8	12W以内
PTB15D(内置MOS管)	内置默认	DIP-8	15W以内
PTB20D(内置MOS管)	内置默认	DIP-8	20W以内

## 引脚定义：

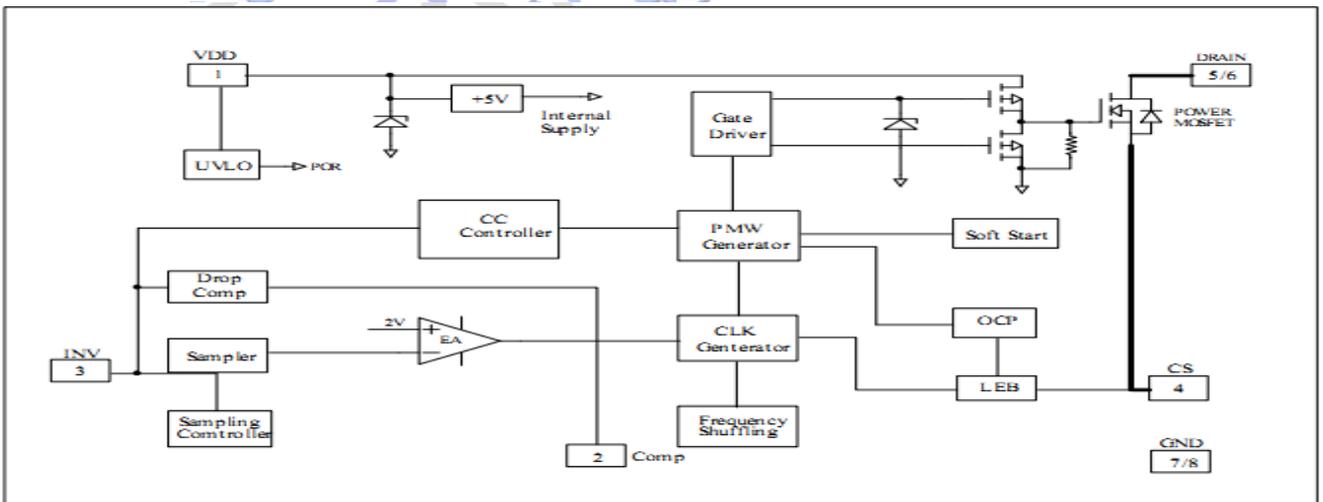
芯片型号	引脚定义							
	1	2	3	4	5	6	7	8
PTB07P PTB15D	VCC	COMP	FB	CS	VPP		GND	
PTB12D PTB20D								

典型应用电路框图：



PTB07P  
PTB12D  
PTB15D  
PTB20D

IC内部方框图



## 最大额定值 (注释)

参数	数值
VDD 电压	-0.3 到 VDD 钳位值
VDD 齐纳钳位连续电流	10mA
COMP 电压	-0.3 到 7V
CS 输入电压	-0.3 到 7V
INV 输入电压	-0.3 到 7V
最小/最大工作结温度 $T_J$	-20 到 150°C
最小/最大储备温度 $T_{stg}$	-55 到 150°C
焊接温度(焊接, 10 秒)	260°C

注释: 超过最大额定值, 可能会损坏器件。长时间工作在最大额定条件下可能会影响器件的可靠性。

## 电气特性

( $T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $V_{DD} = 18\text{V}$ , 如果没有其它说明)

符号	参数	测试条件	最小	典型	最大	单位
<b>供电电压(VDD)部分</b>						
$I_{DDST}$	待机电流	$V_{DD} = 13\text{V}$		3	20	$\mu\text{A}$
$I_{DDOP}$	工作电流	$INV = 2\text{V}, CS = 0\text{V}$		2	3	$\text{mA}$
UVLO(ON)	VDD 欠压锁定电压	VDD 电压下降	8	8.8	10.3	V
UVLO(OFF)	退出 VDD 欠压锁定电压	VDD 电压上升	13.7	15	16.2	V
$V_{DD\_COMP}$	最大 VDD 工作电压	$I_{DD} = 10\text{mA}$	27	28.3	30	V
OVP	过压保护阈值电压	VDD 上升到栅极关断	26	27.5	29	V
<b>电流检测输入部分</b>						
TLEB	前沿消隐时间			550		ns
$V_{th\_OC}$	过流阈值		880	910	940	mV
$T_{d\_OC}$	过流保护传播延时			110		ns
$Z_{SENSE\_IN}$	输入阻抗			50		Kohm
$T_{SS}$	软启动时间			18		ms
<b>频率部分</b>						
$F_{req\_Max}^{(Note)}$	芯片最大频率		55	60	65	KHz
$F_{req\_Nom}$	系统额定开关频率			50		KHz
$F_{req\_startup}$		$INV = 0\text{V}, Comp = 5\text{V}$		12.5		KHz
$\Delta f/F_{req}$	频率抖动范围			+/-6		%
<b>误差放大器部分</b>						
$V_{ref\_EA}$	EA 的参考电压		1.97	2	2.03	V
增益	EA 的直流增益			60		dB
$I_{COMP\_MAX}$	最大输出线压降补偿电流	$INV = 2\text{V}, Comp = 0\text{V}$		38		$\mu\text{A}$

## 过温保护部份

$T_{OTP}$	过温保护			135		$^\circ\text{C}$
$HYS\_T_{OTP}$	滞回温度			25		$^\circ\text{C}$

## 注释:

$F_{req\_Max}$  表示 IC 内部的最大时钟频率。在应用中, 最高工作频率是 60KHz, 当 IC 处于最大输出功率或者 CV 模式与 CC 模式过渡时会出现此频率。

## IC功能介绍

这款高度集成的原边反馈控制芯片包含了许多功能，这些功能有效地提高了小功率反激变换器性能。原边反馈的拓扑简化了电路的设计，无需副边反馈，就可以实现精确的恒压和恒流。通过芯片内部的抖频技术，EMI可以使用最小的滤波器来解决。所以，与传统的设计和线性变压器比较，充电器更小更轻了。

这款原边反馈控制芯片工作在脉冲频率调制（PFM）模式下，负载越轻，频率越小，所以轻载时系统的功耗很小。启动电流最大为30uA，所以可以使用很大的启动电阻从而提高了节能效果。

这款原边控制芯片同时也提供了非常多的保护功能。FB引脚配置了过压保护和输入欠压锁定。每一周期的电流限制和恒流控制保证了在重载下的过流保护。另外，过温保护能将控制芯片关掉，并能在过温状态解除时重启。

通过使用这款原边反馈的芯片，开关电源能够用很少的外围器件和最低的成本实现恒压和恒流的功能。

### 内部工作框图

#### 恒压控制

原边反馈的控制方法可以在无需副边电压与电流检测的情况下实现精确的恒压/恒流控制。副边输出状态是在功率三极管关断时从原边的辅助绕组得到的。使用一些独特的采样方法来复制输出绕组电压( $V_s$ )和副边二极管的放电时间( $T_{dis}$ )。采样后的电压与内部精准的参考电压( $V_{FB}$ )比较后再通过调制误差放大器的输出来确定开关管的关断时间。这种简易的方法实现精确的输出电压调节。

## 恒流控制

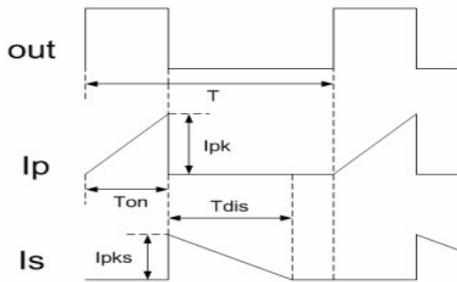
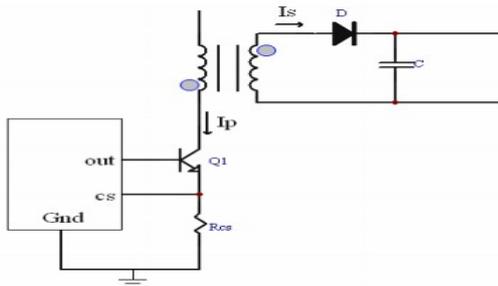
输出电流 $I_o$ 在断续模式(DCM)的反激拓扑中可以通过方程(1)来表达。

$$I_o = \frac{2 \times N_{ps} \times V_{csth}}{7 \times R_{cs}}$$

其中:

$N_{ps}$  是原边与副边线圈匝数比。  $R_{cs}$  是电流检测电阻的阻值。  $V_{csth}$  是  $R_{cs}$  上的电压限制值。 芯片内部设定  $V_{csth}=0.9V$

所以, 输出电流  $I_o$  可以通过  $N_{ps}$  和  $R_{cs}$  来计算, 确定好  $N_{ps}$  和  $R_{cs}$  后, 原边反馈控制芯片就可以确定功率三极管的关断时间, 从而提供恒定的输出电流。



主要波形

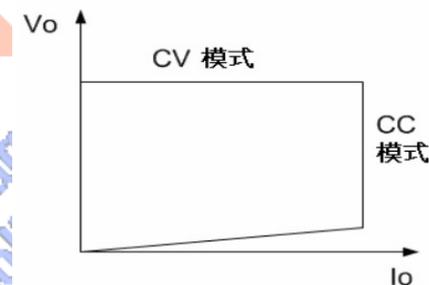
通过在 DCM 下良好的变压器设计, 原边反馈控制芯片能够实现精确而稳定的恒流输出特性。在接下来的篇章中, 有一个变压器的具体设计的介绍

## 降频工作模式

原边反馈控制芯片在恒压工作模式下时, 工作频率随着负载电流的减小而减小, 负载电流减小到0时, 频率降到最低。有了这种控制模式, 电源控制芯片能轻松满足最严格的功率

## 频率抖动

这款原边反馈控制芯片集成了内部的抖频功能来提高 EMI 的性能。输出电压电流特性 电池充电器一般会设计两种工作模式, 恒压充电与恒流充电。图所示为基本的充电特性。当电池电压很低时, 充电器工作在恒流充电状态。这是电流充电的主要方式。当电池电压达到它的最终电压时, 电流便逐渐停止。充电器便进入恒压充电模式。最终, 充电电流逐渐减小直到零。



$V_o-I_o$  曲线

## 启动电路

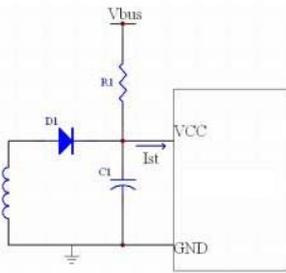
当电源启动时, 如图所示, 输入电压  $V_{bus}$  通过启动电阻  $R1$  对电容进行充电。

当电容的电压( $V_{CC}$ )达到芯片启动电压( $V_{CC-ON}$ )时, 原边反馈控制芯片开始启动。

电源的启动延迟  $T_{st}$  可以通过下式来计算:

$$T_{st} = -R1 \times C1 \times \ln\left(1 - \frac{V_{CC-ON}}{\sqrt{2} \times V_{ac} - I_{st} \times R1}\right) \quad (2)$$

其中:  $V_{CC-ON}$  是芯片启动电压;  
 $I_{st}$  是芯片启动电流。

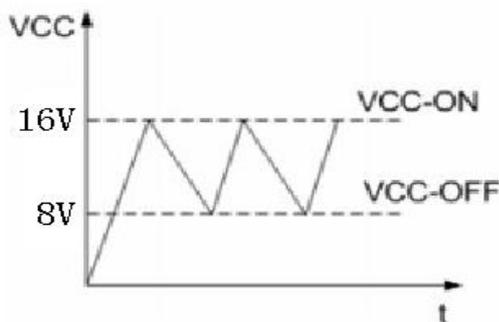


启动电路

正因为很小的启动电流，所以 R1 的值可以取得很大，如 1.2MΩ。如果 VCC 的电容是 4.7μF，启动延迟在 90V 交流输入时可以做到 1 秒以内。

### VCC 欠压锁定

图所示，这款原边反馈控制芯片的开启和关断门檻固定在 16V 和 8V。在启动时，VCC 电容必须通过启动电阻 R1 充电至 16V 从而来启动控制芯片。在能量不能从辅助绕组中得到时，VCC 电容将一直对控制芯片供电，直到辅助绕组开始对 VCC 供应大于 8V 的电压。如果 VCC 电压低于 8V，芯片将进入 VCC 欠压锁定状态，关闭芯片内部的一些电路，此时，Vbus 通过 R1 给电容 C1 充电，直到 VCC 电压达到 16V，芯片再次启动，打开所有的内部电路。这个欠压锁定的滞环将保证在启动时 VCC 电容足够对控制芯片供电。



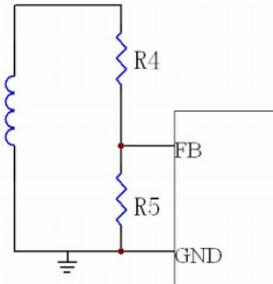
VCC 启动和关断电压

### 输出过压保护及开环保护

图所示，正常工作时，输出电压反馈为辅助绕组的电压，辅助绕组通过 R4 和 R5

分压反馈到芯片的 FB 脚，芯片通过调节关断时间使 FB 脚电压一直稳定在 1.5V。当输出电压突然升高，辅助绕组的电压也跟着升高，导致 FB 检测到的电压升高，当 FB 电压达到 2.5V 并保持 6μs 时，芯片关闭芯片 out 脚的输出，直到芯片下一次启动。

若电阻 R4 短路或 R5 开路，FB 电压很快会上升到 2.5V，芯片会不断重启，一直工作在打嗝模式；若电阻 R4 开路或 R5 短路或辅助绕组开路，没有信号输入到芯片的 FB 脚，则芯片启动后会工作一个周期后关闭芯片的 out 脚的输出，直到芯片下一次启动。



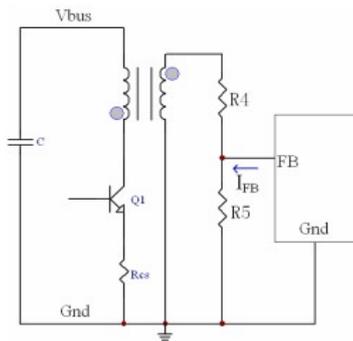
芯片的 FB 脚工作电路

### 输入欠压保护

这款原边反馈控制芯片有一个内置的输入欠压保护功能。所示，当功率三极管 Q1 导通时，

$$I_{FB} = \frac{V_{bus} \times N_{aux}}{N_p \times R_4}$$

当输入电压 Vbus 下降时，从芯片的 FB 脚流出的电流 I<sub>FB</sub> 也会下降，当 Vbus 下降到一定程度，I<sub>FB</sub> 低于芯片内设定值 150μA 时，芯片的 out 脚的输出就会立即关闭，VCC 的电压逐渐地下降到欠压锁定电压，然后进入 VCC 重启的过程。



输入低压保护

段时间空白。在这一空白的时间内，限流比较器不使能，也不能基极驱动电流。

### 过温保护

当结温超过  $135^{\circ}\text{C}$  时，这款原边反馈控制芯片有一个内置的过温检测电路来关闭芯片的 out 脚的输出。当芯片的 out 脚的输出关闭以后，VCC 电压将会逐渐下降到欠压锁定电压  $8\text{V}$ 。一些内部电路就会关闭从而使得 VCC 电压重新上升。当 VCC 达到  $16\text{V}$  时，所有的内部电路，包括过温检测电路，又会正常启动。假如结温仍然高于  $135^{\circ}\text{C}$ ，芯片的 out 脚的输出会立即关掉。这一状态将持续到过温状态解除

### LEB 时间

每一次功率三极管 Q1 开通时，由吸收二极管 D5 的反向恢复和功率三极管 Q1 的寄生电容所产生的尖峰将会反映在 CS 的检测的信号上。为了防止功率三极管 Q1 的误动作，这款原边反馈控制芯片的检测将会在上升沿有一