高频准谐振，集成氮化镓驱动AC/DC控制器

概述

SP9680F 是一款高度集成的高频准谐振反激控制器，支持直驱氮化镓器件；适合设计在离线式 USB-PD 和 USB Type-C 等快速充电器和电源供应器方案；集成高压启动电路，待机功耗小于 50mW。

芯片内置精确的初级限流电路，在输出电压在 PD/PPS 调节时，保证恒定的输出限流，容易满足安规的 LPS 要求。

在满载输出时，IC 在谷底锁定模式下工作；确保高频下，频率变化范围小，提高效率；当负载减轻，进入无谷底锁定模式时，IC 进入快速频率折返模式，减少开关损耗，提高转换效率；当负载进一步减轻时，IC 工作在跳频 Burst 模式；采用这种控制方式，在全负载范围内，提升电源系统转换效率，满足能效要求。

SP9680F 集成全面的保护功能，包括逐周期过流保护（OCP），过载保护（OLP），外部过温保护（OTP），输出短路保护（SCP），初级限流电阻 OPEN/SHORT 保护，输出过压，VDD 过压/欠压保护。

SP9680F 采用 SOP8 封装。

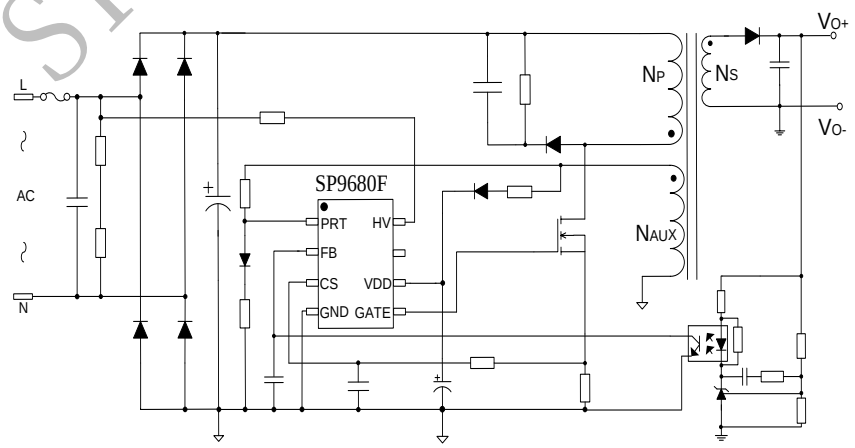
特点

- 集成高压启动和和输入欠压保护
- 宽 VDD 电压范围
- 准谐振谷底锁定模式实现无噪音工作
- 中轻载工作在频率折返和 Burst 模式
- 带输出电压补偿的 Burst 工作模式
- 自适应环路增益补偿
- 内置初级限流保护，满足 LPS 要求
- 内置单段或双段限流保护，满足单口/多口快充应用
- 内置异常故障过流保护功能(绕组和次级整流管短路)
- 动态驱动能力调整，降低次级整流管应力
- 内置频率抖动改善 EMI
- 4ms 开机软启动
- 内置芯片 OTP 保护和外置 NTC 提供器件 OTP 保护

应用范围

- PD/PPS 适配器/充电器
- 手机快速充电器
- 高功率密度电源供应器

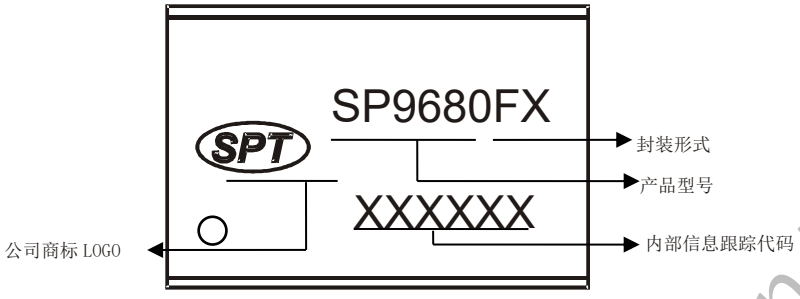
应用简图



Si-power Confidential

产品信息

产品型号	封装	打印名称	功能描述	包装
SP9680F	SOP8、无铅	SP9680F	单段 OCP	4K/盘
		SP9680FB	双段 OCP	



极限参数

符号	描述	范围	单位
VDD	电源电压	-0.3~65	V
V_{FB}、V_{PRT}、V_{CS}	FB、 PRT、CS 脚输入电压	-0.3~7	V
HV	高压输入电压	-0.3~500	V
T_J	工作结温范围	-40 to 150	℃
$T_{STORAGE}$	存储温度范围	-55 to 150	℃
T_{LEAD}	焊接温度（焊锡，10 秒）	260	℃

注：超出上述“极限参数”可能对器件造成永久性损坏。工作条件在极限参数规范内可以工作，但不保证其特性。器件长时间工作在极限条件下，可能影响器件的可靠性及寿命。

封装热损率

封装	结到环境热阻 θ_{JA}(°C/W)
SOP8	130

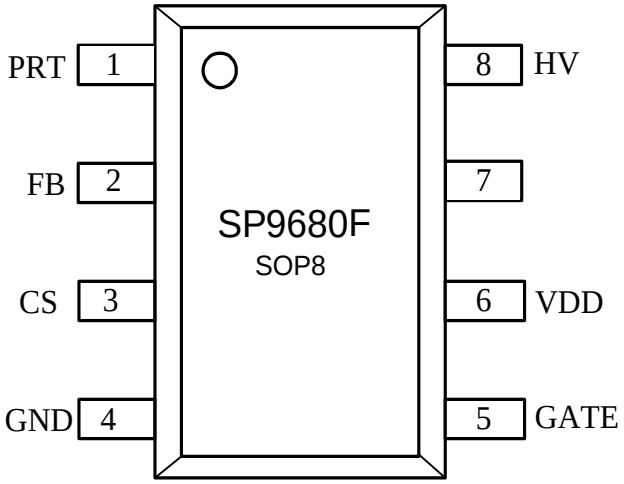
注：Measured on JESD51-7, 2-layer PCB。

推荐工作条件

符号	描述	范围	单位
VDD	VDD 脚电压	9~54	V

Si-power Confidential

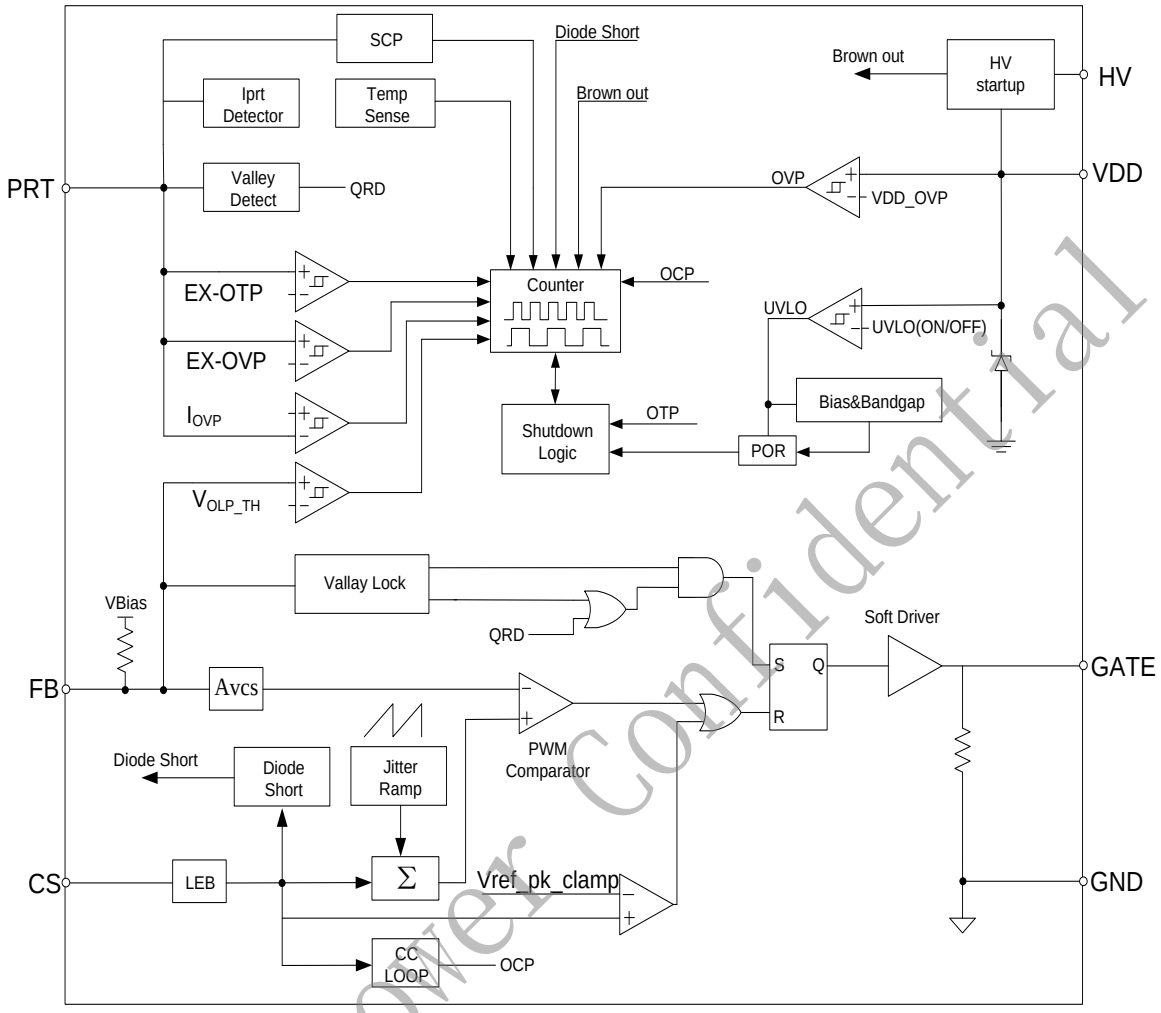
引脚定义



序号	名称	功能
1	PRT	分时复用功能脚，外置 OTP 检测，谷底检测，输出短路和输出 OVP 保护检测。
2	FB	反馈脚，PWM 占空比由该引脚的电压和 CS 引脚的电流感应电压决定。
3	CS	原边电流检测。
4	GND	芯片接地脚。
5	GATE	控制器驱动信号输出脚。
6	VDD	电源供电脚。
7	NC	空
8	HV	高压启动脚，用于高压启动，输入 Brown/Out, Brown/In 电压检测。

Si-power Confidential

IC 内部框图



Si-power Confidential

电气参数

（除非特别声明，测试条件是：环境温度 T_A=25℃，电源电压 V_{DD}=18V。）

符号	描述	条件	范围			单位
			最小	典型	最大	
高压启动（HV）						
IHV1	HV 脚输入电流 @VDD>1V	VDD=2V，HV=100V	1	2	3.5	mA
IHV2	HV 脚输入电流 @VDD<1V	VDD=0.5V，HV=100V	0.3	0.57	0.85	mA
Leakage	启动后 HV 脚漏电流	VDD=18V，HV=500V		5	10	μA
电源（VDD）						
Istartup	VDD 启动电流	VDD=UVLO（OFF）-1V		5	20	μ A
Iop_VDD	正常工作电流	V_{FB}=3V，CL=1nF		2.5	3	mA
Iop_VDD_Burst	跳频工作电流	V_{FB}=0.5V，CL=1nF		0.44	0.48	mA
UVLO（ON）	欠压保护开启电压		6.7	7.2	7.7	V
UVLO（OFF）	欠压保护关断电压		15.5	16.5	17.5	V
Vop_VDD_Burst	跳频工作电压			8.2		V
OVP	过压保护	V_{FB}=3V，扫描 VDD，直到无开关波形	58.5	60	61.5	V
T_D_recovery	自恢复保护重启时间			1.4		s
反馈电压输入脚（FB）						
V_{FB} Open	V_{FB} 开路电压			5.1		V
Avcs	PWM input gain △VFB/△VCS	Iovp≥127μA		3.6		V/V
		65μA≤Iovp≤121μA		4		V/V
		Iovp≤60μA		4.5		V/V
Vref_vallay_lock	退出谷锁电压			1.5		V
Vref_burst_H	退出跳频模式阈值			1.1		V
Vref_burst_L	进入跳频模式阈值			1		V
I_{FB}_Short	FB 对地短路电流			210		μA
V_{TH}_Openloop	FB 开环阈值			4.5		V
T_D_Openloop	开环保护防抖动时间			60		ms
Z_{FB}_IN	FB 脚输入阻抗			30		KΩ
电流采样输入（CS）						
SST_CS	CS 软启动时间阈值			4		ms
T_blanking	前沿消隐时间			220		ns
T_D_OC	过流检测和控制延时	过流保护发生到门驱动输出关闭		90		ns
Vref_PK	0 占空比的内置过流电阈值		0.58	0.6	0.62	V

Si-power Confidential

Vref_PK_clamp	过流嵌位电压			0.84		V
Vref_cc	内置恒流基准电压	Iprt>130μA，单端 OCP	0.28	0.288	0.296	V
	内置恒流基准电压	Iprt<120μA，双段 OCP	0.442	0.45	0.458	V
T_D _OCP	OCP 防抖动时间			60		ms
Vcs_short	CS 短路保护电压			0.075		V
Tcs_short	CS 短路保护检测时间			3		μs
Ncs_short	CS 短路保护防抖动周期			4		Cycles
ΔVmax_CS_shuffling	QR 模式下 CS 抖动幅值			48		mV
F_CS_shuffling	QR 模式下 CS 抖动频率			4		KHz
栅极（GATE）						
Tr	上升时间	1nF，0.5V~5V		140		ns
Tf	下降时间	1nF，5V~0.5V		55		ns
V_{GATE_CLAMP}	钳位电压			6		V
V_{OL}	输出低电平	Io=5mA	-	-	0.2	V
V_{OH}	输出高电平	Io=10mA	5	-	-	V
振荡器						
$F_{_BRUST}$	跳频工作频率			23		KHz
Tonmax	最大导通时间			15		μs
Toffmin	最小关断时间			2.2		μs
Ttimeout_dem_max	最大去磁时间			120		μs
PRT 脚						
Ibias	OVP 检测时的输出偏置电流			20		μA
I_{RT}	外置 OTP 检测输出电流		94	100	106	μA
Vref_OTP	外置 OTP 阈值电压		0.96	1	1.06	V
Nex_OTP	外置 OTP 防抖动周期			60		Cycles
loutput_ovp	输出 OVP 可调的阈值电流		220	240	260	μA
Noutput_ovp	输出 OVP 防抖动周期			8		Cycles
Tsamp_OVP	输出 OVP 采样点（Gate 关闭开始计时）	FB=2.5V		1.5		μs
		FB=1.5V		1		μs
Iscp	短路保护阈值	T＜15ms after startup		16		μA
Nscp	短路保护防抖动周期			4		Cycles
Brownout protection						
Vth_bo_L	Brownout 阈值电压	Rhv=120KΩ	63	70	77	V
Vth_bo_H	Brownout 释放阈值电	Rhv=120KΩ	70	77	85	V

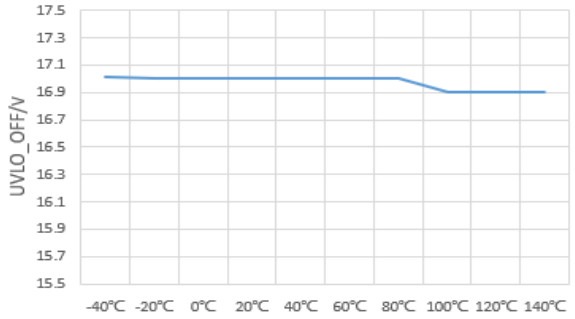
Si-power Confidential

	压					
Td_brownout	Brownout 防抖动时间			600		ms
内置过温保护（OTP）						
OTP Level				150		℃
OTP Exit				120		℃

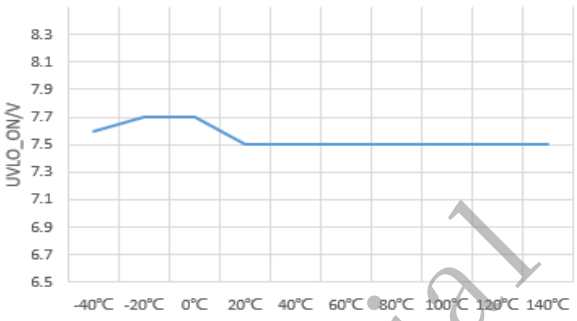
Si-power Confidential

典型温度特性曲线

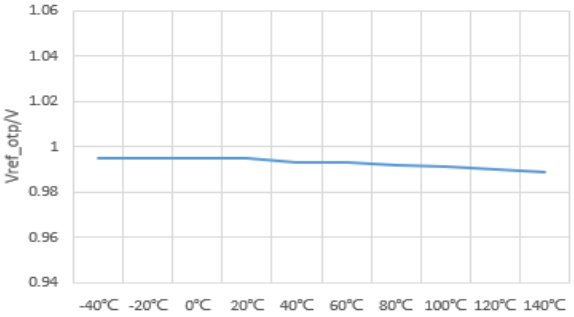
UVLO-OFF温度特性曲线



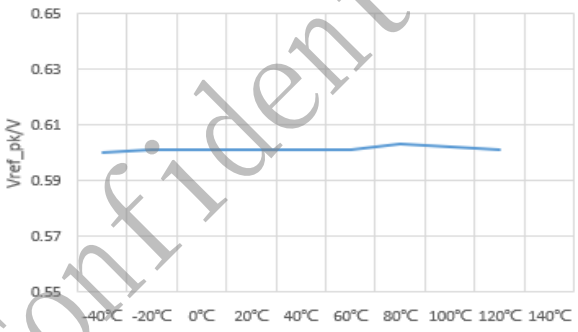
UVLO-ON温度特性曲线



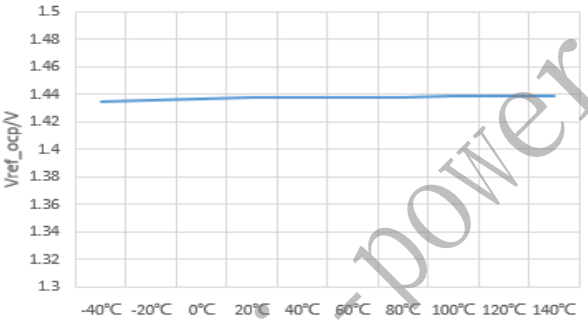
Vref_otp基准电压温度特性曲线



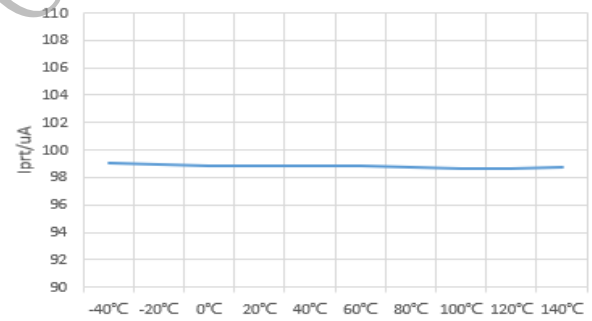
Vref_pk温度特性曲线



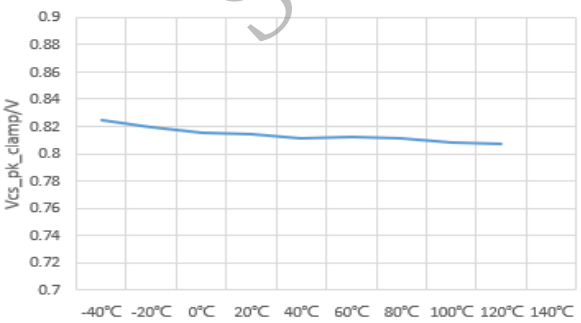
Vref_ocp恒流基准电压温度特性曲线



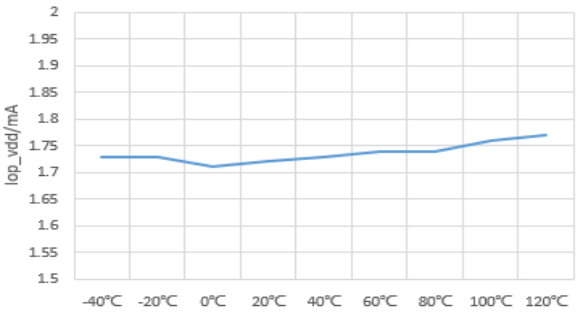
Iprt基准电流温度特性曲线



Vcs_pk_clamp限流最大值温度特性曲线

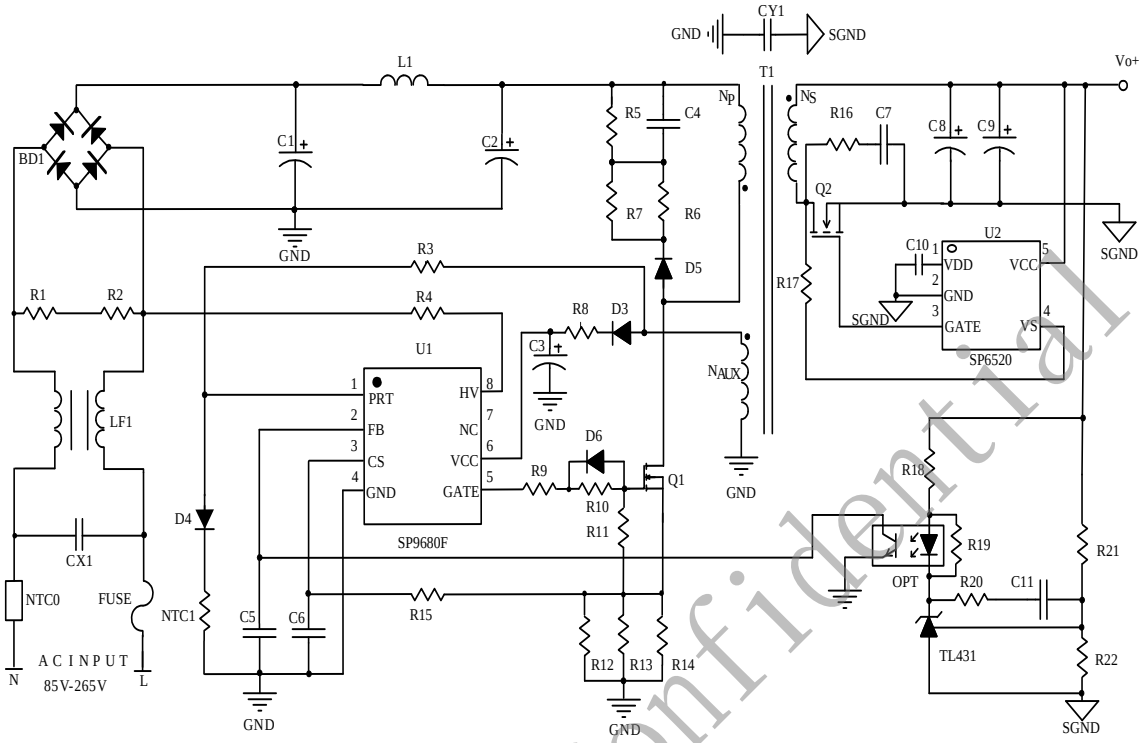


Iop_vdd工作电流温度特性曲线



Si-power Confidential

典型应用图

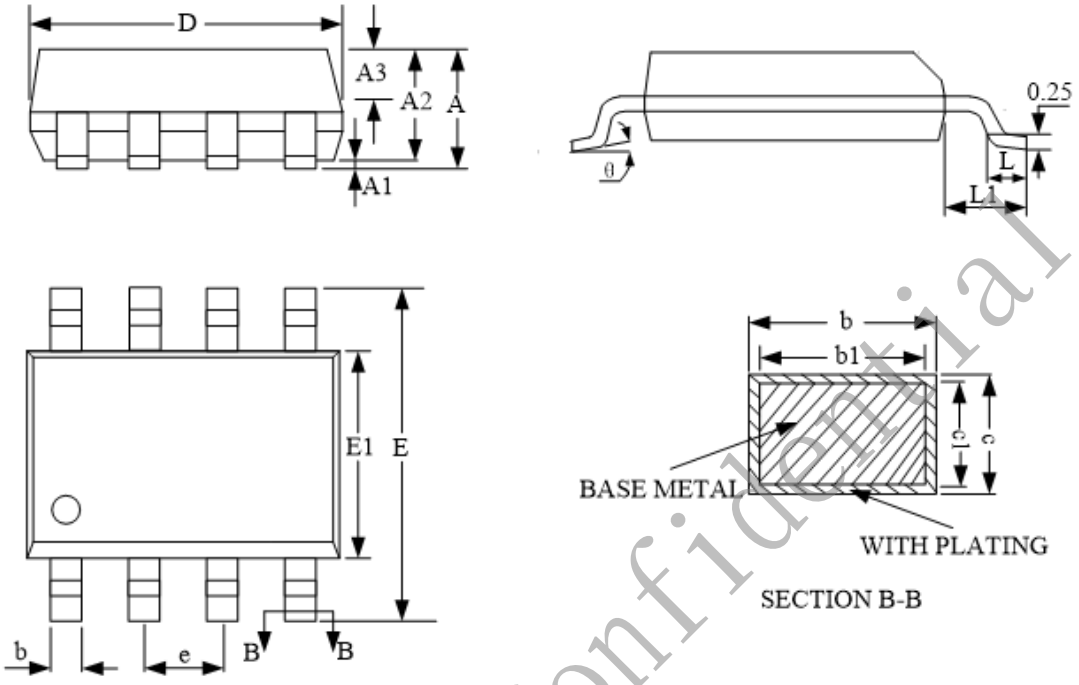


典型应用图

Si-power confidential

封装外形

单位：(mm)



SYMBOL	MILLIMETER		
	MIN	NOM	MAX
A	—	—	1.75
A1	0.05	—	0.25
A2	1.30	1.45	1.60
A3	0.60	0.65	0.70
b	0.35	—	0.50
b1	0.38	0.41	0.44
c	0.20	—	0.26
c1	0.19	0.20	0.21
D	4.70	4.90	5.10
E	5.75	6.00	6.25
E1	3.70	3.90	4.10
e	1.27BSC		
L	0.50	—	0.80
L1	1.05BSC		
θ	0	—	8°

Si-power Confidential

使用说明

SP9680F 是一款带高压启动，高性能、低功耗、谷底锁定，多工作模式的 PWM 反激式控制芯片，芯片内部自带独有的 Burst Mode 能显著减小待机功耗，轻松满足 6 级能效标准。宽 VDD 电压的特点轻松应用在宽输出的 PD 充电器方案。

◆ **内置高压启动和欠压保护**

SP9680F 集成高压启动电路，在 HV 引脚通电状态下，为 VDD 引脚提供约 2mA 的充电电流，当 VDD 电压高于 UVLO（OFF）时，充电电流关闭，此时，由 VDD 电容给 SP9680F 电流，直到变压器的辅助绕组开始提供工作电流。

◆ **工作电流**

SP9680F 典型的工作电流是 2.5mA，低工作电流和跳频模式控制下，一起提升整体的电源能效。

◆ **软启动**

SP9680F 内置 4ms 的软启动时间，在电路启动时可以减小功率开关的电压应力，一旦 VDD 电压达到 UVLO(OFF)时，峰值限流电压逐渐从 0V 升高到最大值，每一次重启都有一次软启动过程发生。

◆ **动态驱动能力调整**

进入无谷底锁存模式后，降低驱动能力，缓冲 SR MOSFET 上的开关应力。退出无谷锁模式，进入谷锁后，增加驱动能力，降低开关损耗，提升重载效率。

◆ **自适应环路增益补偿**

IC 根据检测输出电压的大小，自适应调整环路补偿，保证系统在宽输出电压范围内的稳定性。

◆ **抖频**

SP9680F 内置抖频功能，分散噪声能量，从而降低 EMI 干扰，改进 EMI 性能，简化系统设计。

◆ **跳频**

在轻载或空载条件下，系统的大部分损耗是由 GaN 的开关损耗，变压器的磁芯损耗以及缓冲网络的损耗所构成。而其中最大的损耗来源于开关损耗，所以低的开关频率可以减小开关损耗。

在系统正常工作的时候，频率是由环路及 IC 来调节的。在空载或者轻载时，开关频率将会减小，以此来提高效率，如果此时 FB 的电压下降到低于 VFB_BURST_L 阈值，这时 IC 将进入跳频模式。在跳频模式中，只有当 FB 电压高于 VFB_BURST_H 阈值时，IC 的栅极驱动才工作，否则栅极驱动电路保持关断状态，以此减小开关损耗，降低待机功耗。跳频的频率设置在音频范围之外，可以确保在正常工作时无音频噪声。

◆ **振荡器运作**

在满载运行期间，IC 进入 QR 模式，随着负载减轻，当退出第六个谷底后，进入无谷底锁存模式，IC 进入快速频率折返模式，降低开关频率来降低开关损耗；在更轻载时，IC 进入 burst 模式，降低开关频率来降低开关损耗。

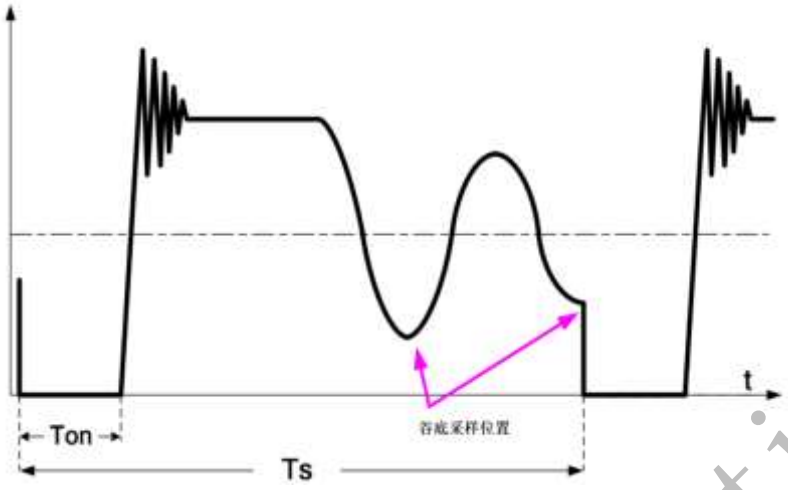
◆ **电流采样和前沿消隐**

SP9680F 采用电流模式 PWM 控制方式，提供了逐周期过流保护，功率管电流由连接在 CS 脚上的取样电阻探测。内部功率管刚开启时，缓冲网络中二极管的反向恢复电流和功率管漏源电容的放电电流在取样电阻上会造成很高的电压尖峰，引起芯片的误判断，而 SP9680F 在 CS 脚上设置有前沿消隐时间，可以屏蔽这个尖峰对芯片的影响。在前沿消隐时间内，限流比较器不起作用，不关闭功率管。

◆ **退磁检测**

通过 PRT 引脚监测辅助绕组上的电压变化来检测变压器磁芯的退磁。该电压具有反激特性。接通(由 CS 电压和 FB 电压决定)后，开关关闭，反激开始。

Si-power Confidential

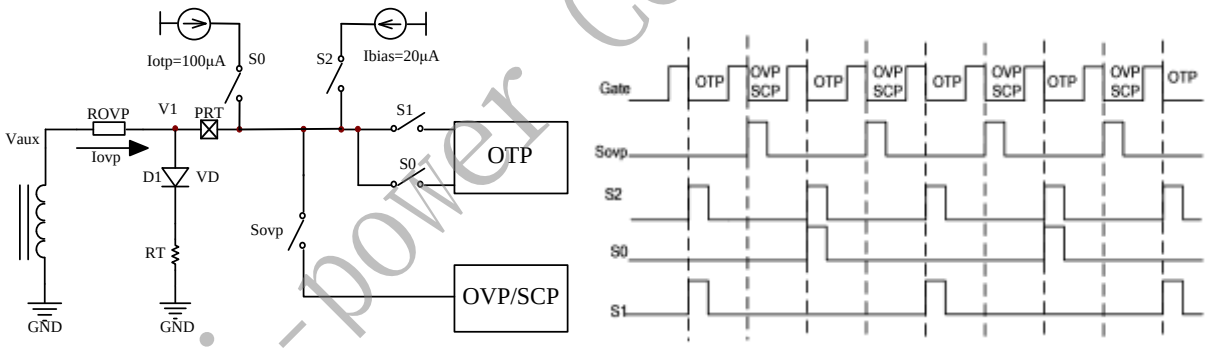


反激结束后，漏极电压的振荡频率约为$1/2\pi\sqrt{L_pC_d}$，其中 Lp 为变压器的一次绕组的初级电感量，Cd 为漏极节点电容。

在 PRT 引脚典型的检测水平固定在 85mV。当 PRT 电压下降低于 85mV 时，通过检测可能的“谷底”来识别退磁信号。

◆ **外部 OTP 和输出 OVP/SCP 的双重功能**

IC 提供了外部 OTP 和输出 OVP 的双重功能，通过 NTC 电阻和输出 OVP 实现外部 OTP 准确检测。双重功能通过分时技术实现，如下图所示。



当 S2=“1”时，存在 20μA 偏置电流流出，即 S0="1"或 S1="1"，外部 OTP 检测时，当开关控制信号 S1="1"时，20μA 电流从 PRT 引脚流出，当开关控制信号 S0="1"时，除 20μA 外，还有 100μA 电流从 PRT 引脚流出。所以 S1="1"时 PRT 引脚电压 V1(S0)为：

$$V1(s1)=\frac{ROVP\cdot VD+RT\cdot Vaux+RT\cdot ROVP\cdot 20\mu A}{ROVP+RT}$$。

PRT 引脚电压 V1（s1）为：

$$V1(s0)=\frac{ROVP\cdot VD+RT\cdot Vaux+RT\cdot ROVP\cdot(20\mu A+100\mu A)}{ROVP+RT}$$。

Vaux 是辅助绕组的退磁电压；VD 是 D1 的正向电压；ROVP 和 RT 如上图所示。

S0 和 S1 的电压差为：$\Delta V_{OTP}=V1(s0)-V1(s1)=\frac{RT\cdot ROVP}{ROVP+RT}\cdot 100\mu A$。

Si-power Confidential

这个电压差抵消了 D1 二极管正向电压的影响。当△V_{OTP}<Vref_OTP 时，在 60 个开关去抖动周期后，外部 OTP 被触发锁存保护。

对于输出 OVP 检测，Sovp=“1”时，Iovp 等于 (Naux/Nsec)*(Vout+Vdiode) / ROVP。如果 Iovp 大于 240μA，则触发输出 OVP。输出 OVP 电压计算为：

$$V_{outovp} = \frac{I_{ovp_th} \cdot N_{sec} \cdot ROVP}{N_{aux}} - V_{diode}$$

。

N_{sec} 为变压器次级绕组匝数，N_{aux} 为变压器辅助绕组匝数，V_{diode} 为次级输出二极管正向压降。

通过选择合适的 ROVP 电阻，可以对输出 OVP 电平进行编程。

对于输出 SCP 检测，当 Sovp=“1”时。Iscp 等于(N_{aux}/N_{sec})*(V_{out}+ V_{diode}）/ROVP。在 IC 启动后的 15ms 内，如果 Iscp 小于 16μA (典型的 Iscp)，则触发 SCP。输出 SCP 电压计算方法与输出 OVP 检测方法相同。SCP 在 4 个周期防抖动后可自动重启触发保护，通过选择合适的 ROVP 电阻，可以对输出 SCP 电平编程。

◆ **保护控制**

具有 OCP 保护，输出短路保护，Rsense 短路保护，VDD（UVLO）欠压保护，过负载保护 OLP，外部过温保护（OTP），VDD 过压保护和输出过压保护（OVP），实现了良好的供电系统稳定性。

IC 可对 OCP 进行实时电压补偿，使其在宽输入电压范围内达到恒定的输出 OCP 限制，消除了对初级电感和频率的依赖。

在过载条件下，当 FB 输入电压超过功率限制阈值超过 Td_OLP 时，控制电路作出反应，关闭电路。当 VDD 电压低于 UVLO 限制时，它重新启动。

◆ **可编程 OCP**

初级 OCP 环路确保输出 OCP 一致性，主要与变压器匝数比和 Rsense 相关。

当 IC 版本为“F”，为单段 OCP 限流，在不同输出电压(例如 5-20V)下维持相同，OCP 输出保护电压阈值 Vref_cc 为 0.288V(典型值)。

当 IC 版本为“FB”，为双段 OCP 限流，在 PD 充电功率的 PDO 中，有些 PDO 的输出电压的输出电流不同(65W PDO 5V-15V3A,20V3.25A)，同时多口充电输出时低压有大电流输出的要求，为降低高输出电压的输出电流，设置了双 OCP 保护机制。具体方式为: 当 PRT 引脚流入电流>130μA 时，IC 调节 OCP 保护阈值 Vref_cc 为 0.288V(典型值)，当 PRT 引脚电流<120μA 时，IC 调节电流保护阀值为 0.45V。

$$I_{out_OCP} \approx \frac{N \cdot V_{ref_cc}}{2R_{sense}}$$

N 为初级绕组和次级绕组的匝数比。

◆ **引脚浮动和短路保护**

SP9680F 为所有引脚提供引脚悬空保护，为相邻引脚提供引脚短路保护。在一个引脚是悬空或两个相邻引脚短路的情况下，GATE 无输出。

◆ **驱动**

设计了一个专用的门驱动器来控制的电源开关 GaN。栅极驱动能力过弱导致 GaN 的开关损耗增大，而栅极驱动能力过强会影响 EMI 效果。通过内置的图腾柱门设计与合适的驱动能力和死区时间的控制，可以实现低空载功耗和优异的系统 EMI 设计。

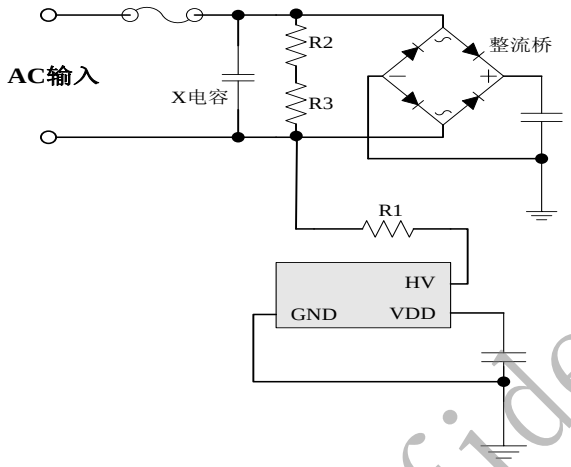
◆ **输入电压欠压保护**

通过对高压引脚上交流电压进行监测，实现了精确的 Brown-out 保护功能。保护电压阈值由下图中的高压电阻调节。

Si-power Confidential

$$VHV_{Brown-out}(AC) = \frac{(R1+2.5K\Omega)\cdot 70VAC}{120K\Omega+2.5K\Omega}$$。

2.5KΩ是 SP9680F 内部分压电阻，通过其实现对高压引脚上交流电压的精确监测。保护电压阈值由图中的高压电阻调节，其变化范围在±10%以内。70VAC 的 Brown-out 阈值是通过设置 120KΩ的 HV 电阻得到的。



HV 脚启动电路的主要元器件参考选择如下表：

元器件	电压/电流应力范围
整流桥	600-1000V，0.5-20A
二极管	1000V，1A
电阻（R1）	40K-120KΩ，1/4W，SMD1206
X 电容	0.1μF-1.0μF

声明：

1、无锡硅动力微电子股份有限公司保留 DATA SHEET 的更改权，恕不另外通知。客户在下单前应获取最新版本资料，并验证相关信息是否完整和最新。

2、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，买方有责任在使用本公司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，以避免潜在失败风险可能造成人身伤害或财产损失情况的发生。

3、产品提升永无止境，我公司将竭诚为客户提供更优秀的产品。

Si-power Confidential