MK2789CDG 宽供电高频 QR 集成 GaN 的功率开关

概述

MK2789CDG 是专为 PD/快充应用优化的高频 QR 功率开关。宽范围 VCC 工作电压(9V-85V)可以使其覆盖 PD/PPS 从 3.3V-21V 的输出范围而不需要使用额外的 VCC 绕组或者线性降压电路。

针对于能效要求，由于 PD/快充有多个不同的输出电压，因此采用了自适应的多模式控制，其在不同负载以及不同输出下，调整工作于 DCM/QR 模式，在轻载时则会工作于 Burst 模式，以提升效率。

MK2789CDG 提供了全面的保护功能，有输出过压保护，过功率保护，VCC 过压保护，Brown in/out，以及副边同步整流短路保护、CS 短路保护等。

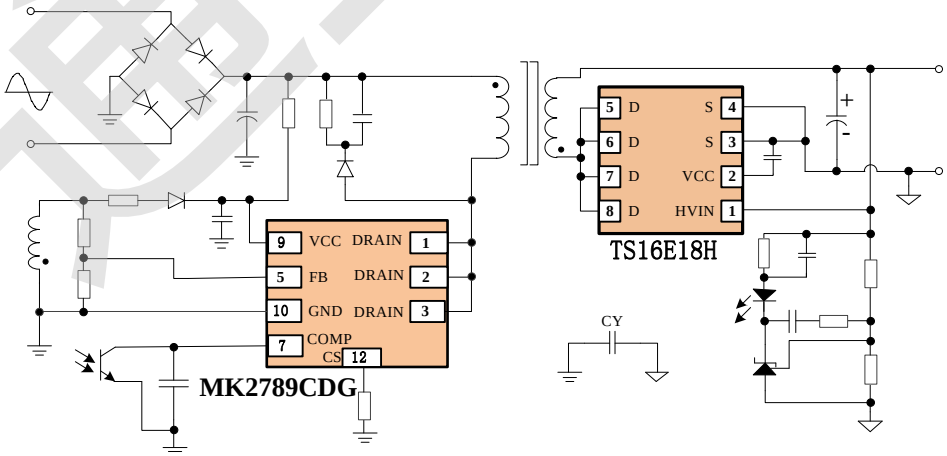
典型应用

- 最大 65W AC/DC PD 适配器
- 高功率密度电源

特点

- 内置 650V 165mΩ 氮化镓(GaN FET)
- 宽范围 VCC 工作电压(9V-85V)
- 最高可达 130kHz 的开关频率
- 专有软启动电路可降低 SR Vds 应力
- 优化的各点效率易于达到能效标准
- 同步整流短路保护
- CS 短路保护
- Brown in/Brown out 功能
- VCC 过压/输出过压保护
- 支持 PPS 宽范围输出
- DFN6X8 封装

应用简图

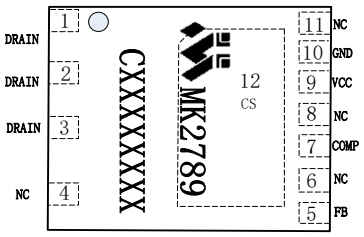


电话:0755-83387360 手机：13826508770（王先生） 邮箱：3007605919@qq.com 网址：www.sztssd.com 地址:深圳市福田区中航路鼎诚国际南座18楼1814室

订购信息

订购型号	包装
MK2789CDG	DFN6X8, MSL-3, 编带卷装, 3000 颗/卷

引脚分布



XXXXXXXX: Lot code

DFN6X8 顶视图

极限参数(1)

VCC ..... -0.3V - +100V
COMP, FB..... -0.3V - +5.5V
CS..... -0.7V - +5.5V
DRAIN.....-3V - +650V
连续漏极电流 I_D.....12A(2)
脉冲漏极电流 I_{DM}.....22A(3)
结温（T_J）.....-40- +150℃
焊接温度（10s）.....+260℃

推荐工作条件范围

VCC .....+9V - +85V
结温(T_J) .....-20°C -+125°C

热阻(4)	θ_{JA}	θ_{JC}
DFN6X8	45	2°C/W

备注:

(1) 超过此条件可能会造成器件永久损坏;

(2) Tc=25°C，最大连续漏极电流基于最大允许结温计算;

(3) Tc=25°C，Pulse≤300us.

(4) 依据 JESD51-2a 的自然对流环境，采用 JESD51-7 规定的 2S2P 4layers PCB 仿真结果。

电话:0755-83387360 手机：13826508770（王先生） 邮箱: 3007605919@qq.com 网址：www.sztssd.com 地址:深圳市福田区中航路鼎诚国际南座18楼1814室

引脚功能

引脚序号	引脚名称	引脚功能
1、2、3	DRAIN	内置功率管（GaN）的漏极
4、6、8、11	NC	空引脚
5	FB	辅助绕组电压检测与谷底检测引脚
7	COMP	闭环控制引脚
9	VCC	供电引脚
10	GND	参考地
12	CS	原边电流检测引脚

功能框图

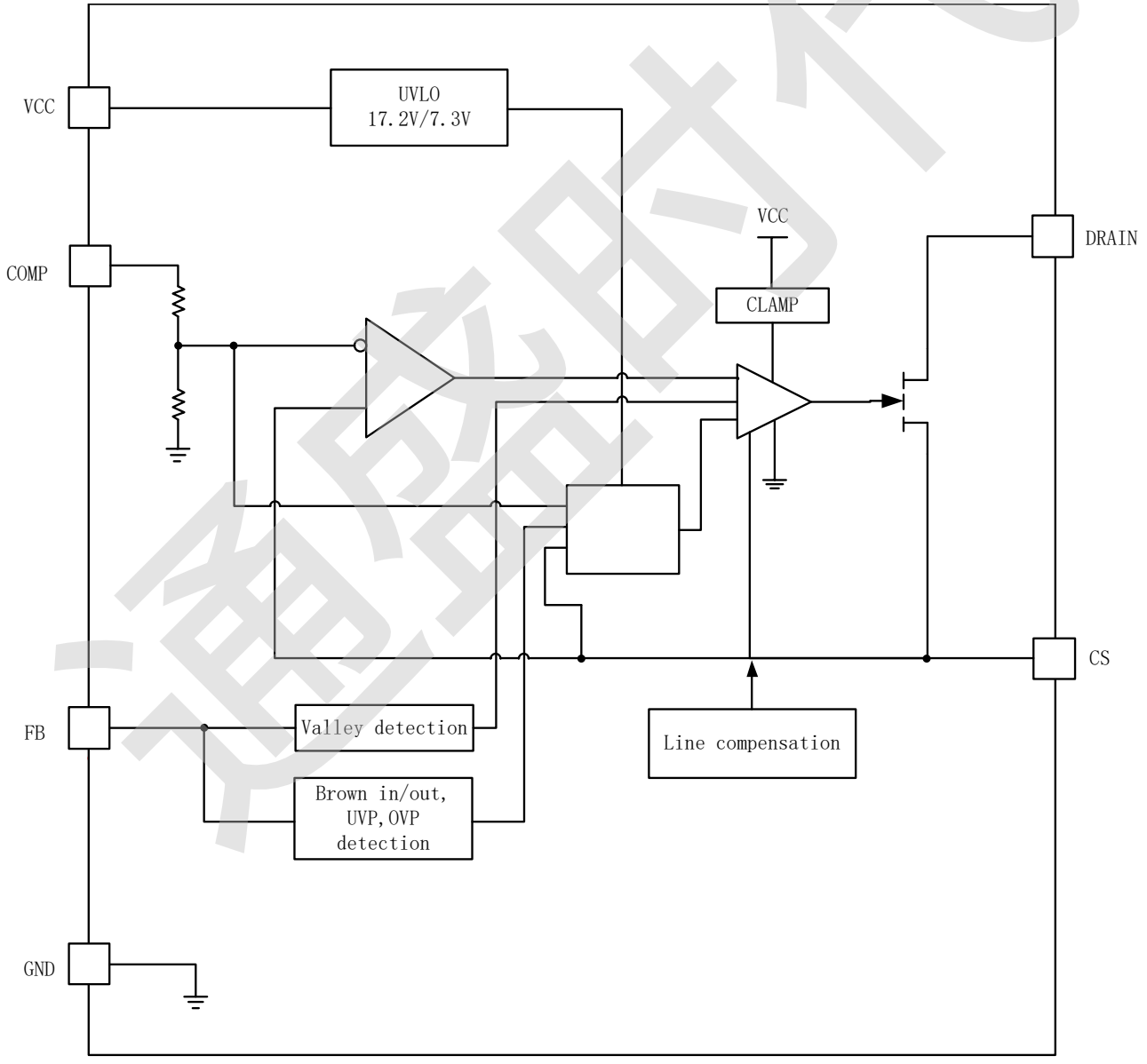


图 1：逻辑框图

电话:0755-83387360 手机：13826508770（王先生） 邮箱：3007605919@qq.com 网址：www.sztssd.com 地址:深圳市福田区中航路鼎诚国际南座18楼1814室

电气参数

VCC=12V,T_A=25°C, 除非特别说明

参数	符号	测试条件	最小值	典型值	最大值	单位
GaN 部份参数						
最大漏源耐压	V_{DS_max}		650			V
导通阻抗	$R_{DS(on)}$	I_D=1A		165		mΩ
供电输入部份（VCC）						
UVLO 欠压保护开启电压	V_{CC_ON}	VCC 上升至开启	15.5	17.2	19.9	V
UVLO 欠压保护关闭电压	V_{CC_OFF}	VCC 下降至关闭	6.0	7.3	8.4	V
UVLO 欠压保护迟滞	V_{CC_HYST}		8.5	10	11.2	V
VCC 启动电流	$I_{STARTUP}$	VCC=15V	2	5	8	uA
VCC 正常工作电流	I_{OP}	COMP=2V	0.3	0.6	1.5	mA
Burst 工作模式电流	I_{BURST}	COMP=0V	240	290	340	uA
VCC 过压保护阈值	V_{CC_OVP}	VCC 上升至过压保护	87	93	100	V
VCC 钳位阈值	V_{CC_CLAMP}	VCC 上升至钳位电压	89	102	110	V
闭环控制部份（COMP）						
COMP 开环电压	V_{COMP_OP}	COMP 开路	4	4.4	4.8	V
COMP 短路电流	I_{COMP_SHORT}	COMP=0V	130	160	190	uA
Burst 模式进入阈值	V_{BM_ET}		0.27	0.30	0.33	V
Burst 模式迟滞电压	V_{BM_HY}		0.02	0.05	0.09	V
OPP 过功率保护阈值	V_{OPP}		2.8	3.0	3.2	V
OPP 屏蔽时间*	T_{D_OPP}			Tss*6		mS
电流检测（CS）						
软启动时间	T_{SS}		4	7	10	mS
次级同步整流短路保护阈值	V_{SR_SH}		1.1	1.2	1.3	V
同步整流短路保护屏蔽时间*	$T_{SR\text{-}SH}$			3		周期
逐周期最大电流限制	V_{CS_CBC}	VFB<1V,I_{FB}=100uA	0.79	0.85	0.91	V

电话:0755-83387360 手机：13826508770（王先生） 邮箱：3007605919@qq.com 网址：www.sztssd.com 地址:深圳市福田区中航路鼎诚国际南座18楼1814室

逐周期最大电流限制	V_{CS_CBC}	VFB<1V,I_{FB}=300uA	0.56	0.63	0.70	V
CS 短路保护阈值*	V_{CS_SH}			0.05		V
CS 短路保护屏蔽时间*	T_{CS_SH}			3		周期
辅助绕组检测（FB）						
Brown in 电流阈值	I_{BNI}		78	94	109	uA
Brown out 电流阈值	I_{BNO}		69	85	100	uA
Brown out 屏蔽时间*	T_{BL_BNO}			Tss*7		mS
输出过压保护阈值	V_{FB_OVP}		3.3	3.6	3.9	V
输出过压保护屏蔽时间*	T_{BL_OVP}			7		周期
输出欠压保护阈值	V_{FB_ST}		0.17	0.20	0.23	V
输出欠压保护屏蔽时间*	T_{BL_ST}			7		周期
开机时的输出欠压保护屏蔽时间*	T_{D_ST}			Tss*2		mS
高电压输出阈值	V_{FB_H}		1.7	1.9	2.1	V
中电压输出阈值	V_{FB_M}		1	1.1	1.2	V
振荡器部份						
正常工作频率	F_{SW_MAX}	COMP=2V	110	130	150	kHz
节能模式工作频率	F_{SW_GREEN}	COMP=0.4V	21	25	29	kHz
频率抖动范围*	F_{JT}			±6		%
频率抖动周期*	T_{JT}			8		mS
最大消磁时间	T_{OFF_MAX}		80	110	140	uS
过温保护*	T_{HSD}			165		℃
过温保护迟滞 *	T_{HSD_HYS}			30		℃

备注:

* 设计保证

电话:0755-83387360 手机：13826508770（王先生） 邮箱：3007605919@qq.com 网址：www.sztssd.com 地址:深圳市福田区中航路鼎诚国际南座18楼1814室

关键参数温度曲线

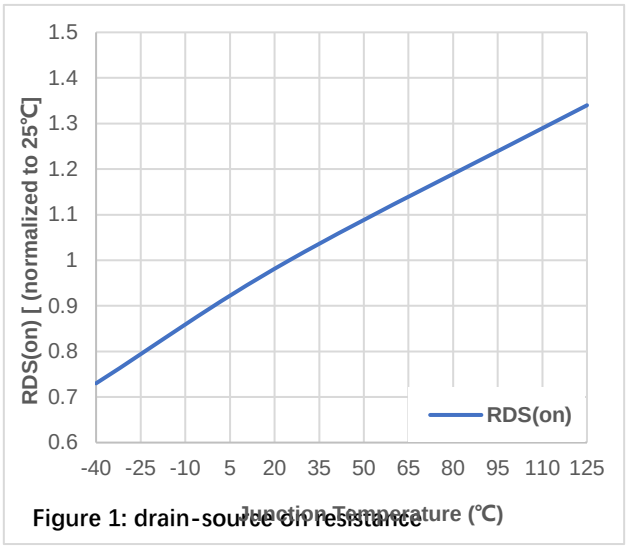


Figure 1: drain-source on resistance

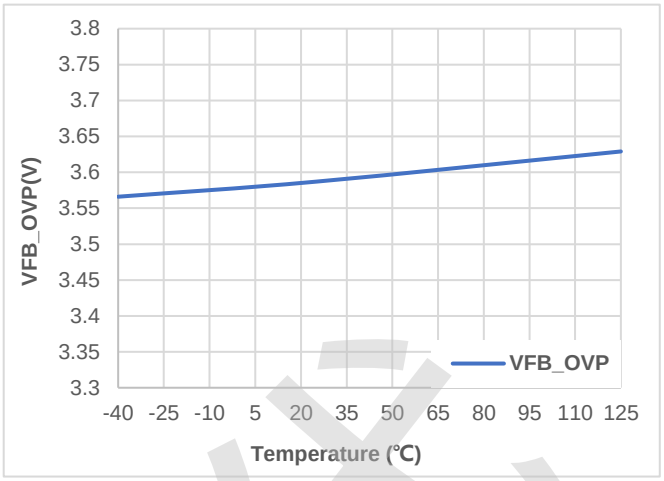


Figure 2: V_{FB_OVP} VS temperature

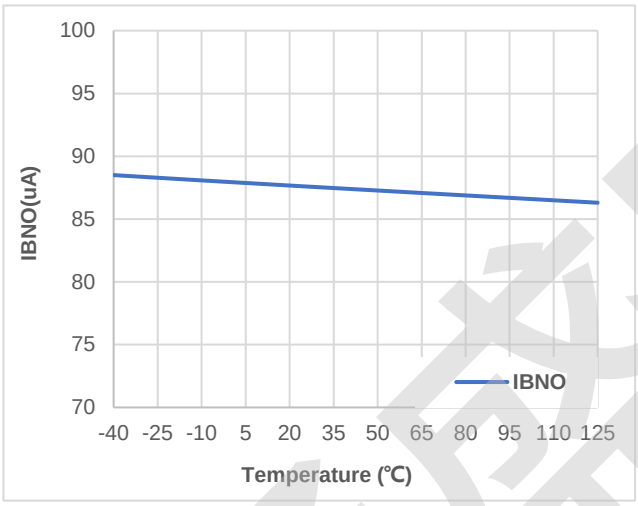


Figure 3: I_{BNO} VS temperature

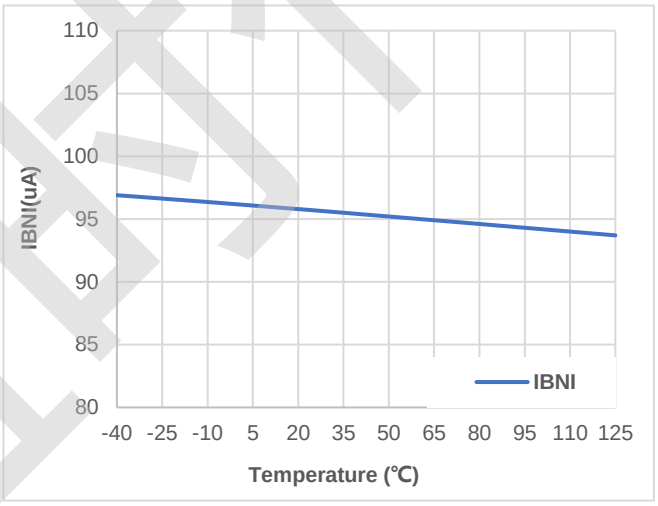


Figure 4: I_{BNI} VS temperature

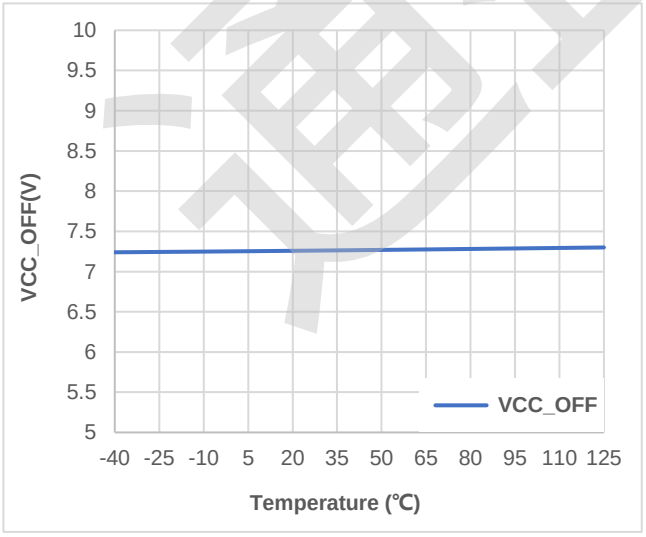


Figure 5: V_{CC_OFF} VS temperature

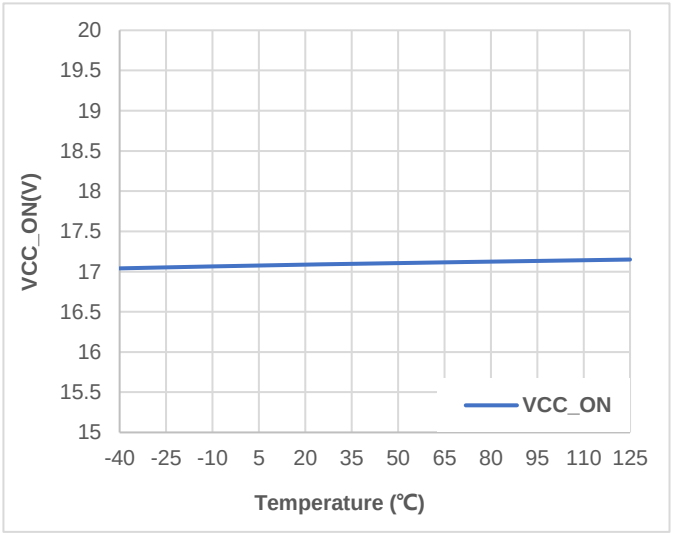


Figure 6: V_{CC_ON} VS temperature

电话:0755-83387360 手机：13826508770（王先生） 邮箱：3007605919@qq.com 网址：www.sztssd.com 地址:深圳市福田区中航路鼎诚国际南座18楼1814室

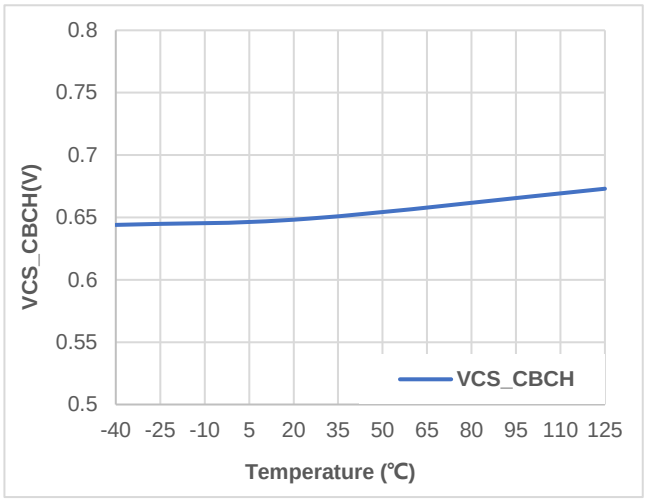


Figure 7: V_{CS_CBCH} VS temperature

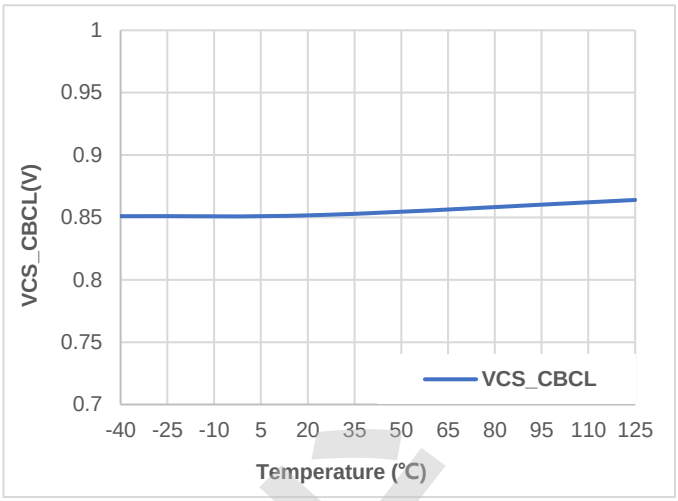


Figure 8: V_{CS_CBCL} VS temperature

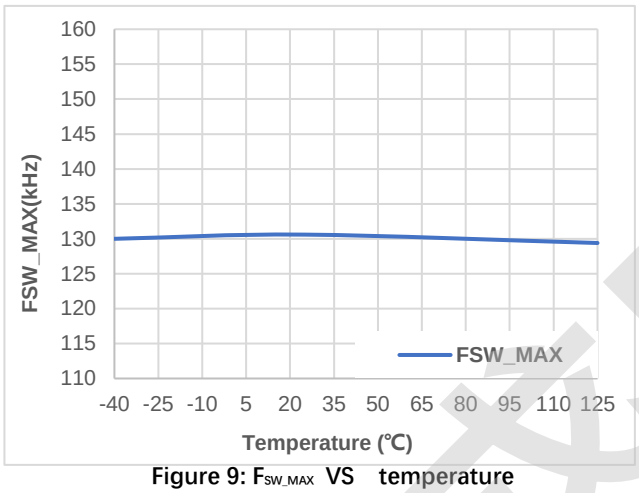


Figure 9: F_{SW_MAX} VS temperature

电话:0755-83387360 手机：13826508770（王先生） 邮箱: 3007605919@qq.com 网址：www.sztssd.com 地址:深圳市福田区中航路鼎诚国际南座18楼1814室

工作概述

VCC 启动

启动时母线电容通过启动电阻给芯片 VCC 充电，由于芯片启动电流 I_{ST} 非常小(~5 uA)，可以采用比较大的启动电阻(也需要考虑启机延时)，以降低待机损耗。当 VCC 达到 V_{CC_ON} 后(~17.2V)，芯片开始工作。

软启动

在启动开始过程中，由于输出电压很低，如果不控制频率和 CS 电压，由于环路的作用，芯片会尝试以最大开关频率及最大峰值电流工作，带来较高的原副边应力。MK2789CDG 采用了多段启动控制，以实现启动过程中原副边应力的优化。

工作曲线

MK2789CDG 具有多种工作模式，因为采用了峰值电流型控制，COMP 的电压值的变化与负载的变化方向是一致的。因此 IC 可以通过监测 COMP 的电压变化，根据不同的负载自动切换成较优的工作模式，工作模式的切换曲线示意图如下

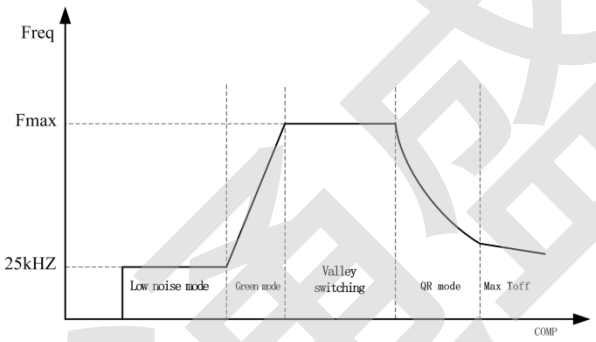


图 2：工作模式曲线

Brown in

在开机过程中，PWM 控制器发出一系列窄脉冲，在其中完成 Brown in 检测。在原边 MOS 开通过程中，FB pin 电压约为 0V，此时由 FB pin 流出的电流 I_{FB} 为 Vbulk*(Na/Np)/Ru，只有当此电流大于 I_{BNI}(~94uA)时，芯片才认为已经满足 Brown in 条件，进行正常开机。

如果检测到未满足 Brown in 条件，则在窄脉冲后，芯片进入重启过程。

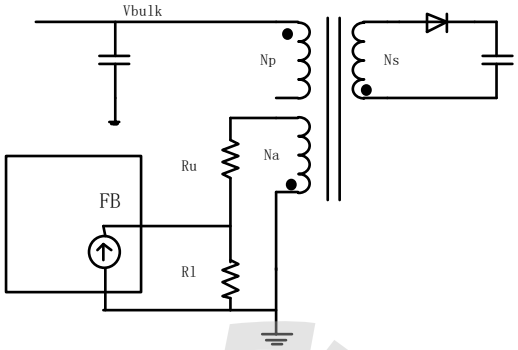


图 3：Brown in/Brown out

BROWN OUT

在正常工作过程中，芯片也会一直在原边 MOS 开通时，检测流出 FB 的电流，当流出电流<I_{BNO} (~85uA)，并且持续时间≥T_{BL_BNO}(~42ms)时，芯片认为 Vbulk 电压过低，发生 Brown out，并关闭驱动输出，进入重启过程。

控制机制

此芯片为电流型控制，将 CS 上检测电压在芯片内部和电压环反馈电压作比较，决定占空比大小。

在 COMP 最大时，芯片也会逐周期限制原边峰值电流，其最大逐周期限流点为 V_{CS_CBC}/RCS。即系统设计中至少需要满足变压器不饱和的限流点为 V_{CS_CBC} /RCS。

由于驱动电流在 CS 电阻上的瞬态电压，以及 DRAIN 节点上折算电容 C_{SW} 的影响，在开通驱动瞬间，在 CS 电阻上会产生尖峰，如果不做处理会导致芯片发出的占空比过小，或者导致误保护，因此芯片内部 CS 采样电路中加入了 300nS 的前沿消隐.

AC 线电压过功率补偿

在不同的输入电压情况下，由于频率的变化，即使相同的 V_{CS} 峰值，也会对应不同的输出限流点，MK2789CDG 采用了输入电压补偿，根据芯片检测到的不同的 I_{FB} 电流来判断输入电压，会在芯片内部采到的 CS 电压上加入补偿，使高低压输入的峰值功率尽可能相同。

电压环路调整

COMP 是副边输出经 TL431、光耦到原边的电压反馈环电压，其和电流环进行比较前，经过了约 1/2.5 的分压。

电话:0755-83387360 手机：13826508770（王先生） 邮箱：3007605919@qq.com 网址：www.sztssd.com 地址:深圳市福田区中航路鼎诚国际南座18楼1814室

绕组电压检测

在次级电流续流时间内，FB 引脚上电压为辅助绕组电压的分压，间接反映了输出电压。

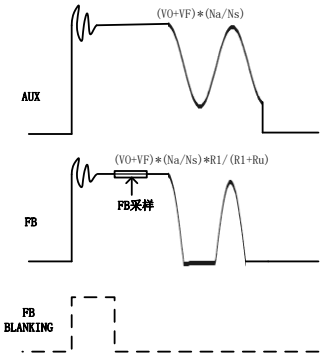


图 5：FB 检测

在驱动关闭后，经过一个 BLANKING 约 1.3uS 的滤波时间，采样 FB 在变压器去磁时间内的电压并和不同阈值进行比较，可以完成下述功能：

1. 输出过压保护 VOUT OVP。FB 脚电压高于 V_{FB_OVP}（~3.6V）连续 7 个周期，发生保护并进入重启
2. 输出欠压保护 VOUT_UVP(或称输出短路保护)。FB 脚低于 V_{FB_ST}（~0.2V）连续 7 个周期，发生保护并进入重启
3. 根据检测到的输出电压，确定工作控制曲线。

谷底检测

在 DCM/QR 模式中，当副边续流结束，主功率 MOS 的 Coss 和变压器 Lp 谐振，辅助绕组波形也开始谐振。当辅助绕组震荡到负后，FB 被钳到~0V，芯片检测此时流出 FB 脚的电流，当 I_{FB} 大于 I_{VALLEY}（~10uA）时，判断可能的谷底进行开通。

保护功能

过功率保护、过压保护等保护，芯片保护机制为重启

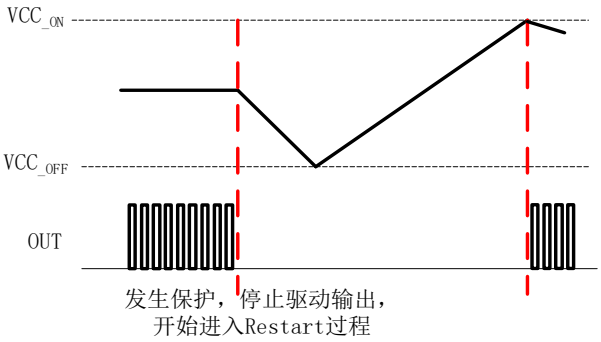


图 6：重启模式

保护功能	保护机制
过功率保护	重启
输出过压保护	重启
输出欠压保护	重启
VCC 过压保护	重启
输出同步整流短路保护	重启
CS 短路保护	重启

过功率保护 OPP

OPP 保护通过检测 COMP 电压，如果 COMP 电压高于 V_{OPP}（~3V）且持续时间>42ms，芯片认为功率超出设定值，发生过功率保护 OPP，进入重启。

逐周期最大电流限制

电流型控制芯片把 CS 信号和 COMP 逐周期比较，但是当输出短路或者光耦开路状况下，COMP 电压可能会冲的很高，导致 I_{PK} 电流过大，引起变压器饱和，因此芯片又增加了一重保护，即 CS 电压会逐周期与 V_{CS_CBC} 比较，经过约 300nS 的前沿消隐时间后，只要 CS 到了 V_{CS_CBC} 就立刻斩波。

次级同步整流短路保护

如果次级的同步整流 MOS 或者肖特基二极管短路，则原边 MOS 的峰值电流会急剧增加，为了避免损坏内部 MOS，驱动发出开始计时，经过约 90nS 的前沿消隐时间后，IC 如果检测到 CS 管脚电压超过 V_{SR_SH}（~1.2V），则立即停止当前周期驱动输出。如果连续三个周期检测到 $Vcs \geq V_{SR_SH}$（~1.2V），MK2789CDG 判断系统发生了次级短路，关闭内部驱动，VCC 电压随之下掉，进入重启模式。

电话:0755-83387360 手机：13826508770（王先生） 邮箱：3007605919@qq.com 网址：www.sztssd.com 地址:深圳市福田区中航路鼎诚国际南座18楼1814室

CS 短路保护

如果在初级 MOS 开通 3.6us 后，CS 仍然未能达到 V_{CS_SH}（~50mV），则芯片强制关闭驱动，如果连续三个周期都发生此状况，则芯片进入保护，并进入重启模式。

VCC 过压保护

MK2789CDG 有很宽的 VCC 范围，当 VCC 达到 V_{CC_OVP}（~93V）后，芯片立刻停止驱动输出，并进入重启模式。

如果由于 VCC 启动电阻大小不合适的原因，导致 VCC 电压继续升高，当 VCC 达到 V_{CC_CLAMP} (~102V) 后，芯片会内部下拉 18mA 电流，防止 VCC 电压进一步升高并超过 VCC 的 ABS MAX 而造成损坏。

过温保护 OTP

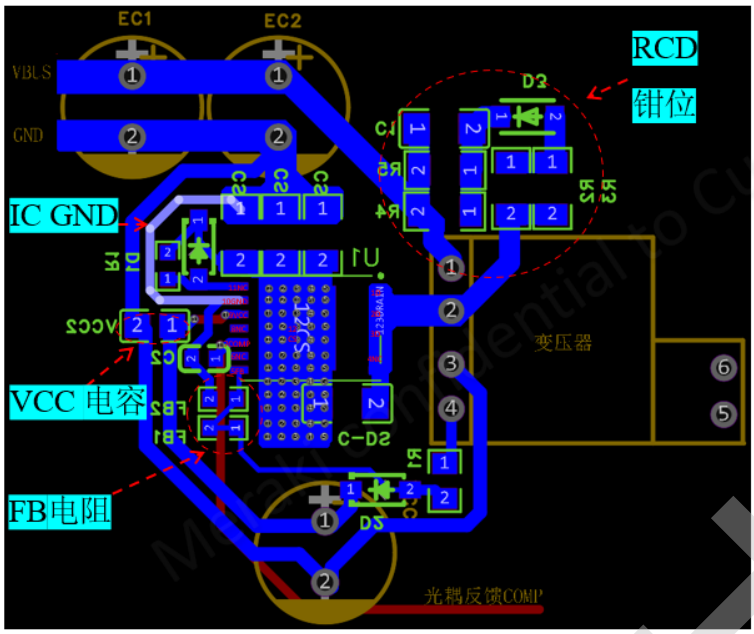
芯片提供了内部的过温保护 OTP，其触发点约为 165℃，回滞温度约 30℃

通盛时代

电话:0755-83387360 手机：13826508770（王先生） 邮箱: 3007605919@qq.com 网址：www.sztssd.com 地址:深圳市福田区中航路鼎诚国际南座18楼1814室

PCB LAYOUT 指导

如下图所示：



注意要点：

1)FB 采样电阻靠近 IC FB 引脚放置，走线不要平行于整流前（动点）的辅助绕组，也不可绕到高压动点，可在 FB 下反馈电阻并联预留<20pF 的 16V/0603 电容；

2)VCC 环路面积尽量小，贴片电容紧靠 VCC 引脚；

3)采用 CS 散热和做屏蔽，可打过孔及加大面积；

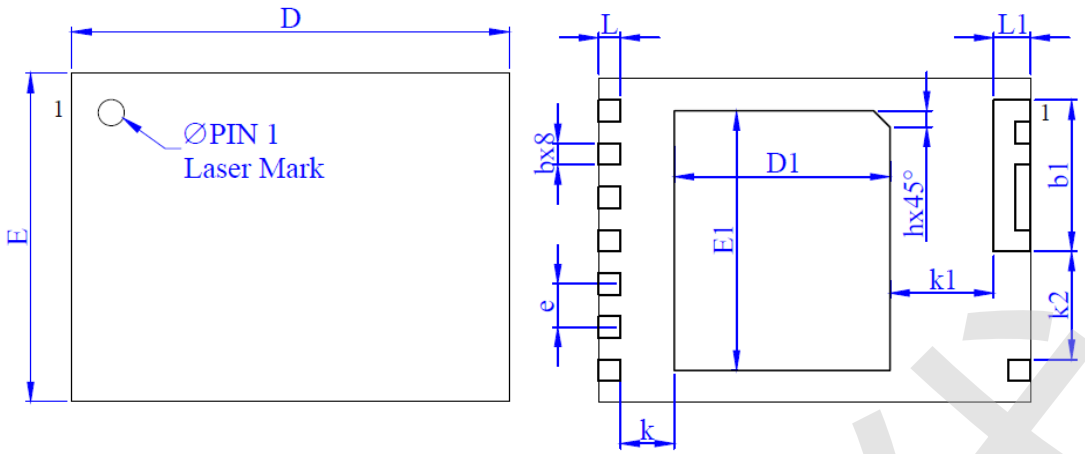
4)RCD 钳位电路面积尽量小（利于 EMI）；

5)D 和 CS 预留 1206 COG(NPO)贴片电容；

6)芯片 GND 走线 必须以最短距离单点回到电流检测电阻的地，最大限度减小线路电感，避免发生驱动震荡，建议线宽≥0.45mm，且不要打过孔。原则上，IC GND 到电流检测电阻的 GND 走线电感小于 10nH(0.45mm 的线宽走线长度 11mm 左右)

电话:0755-83387360 手机：13826508770（王先生） 邮箱：3007605919@qq.com 网址：www.sztssd.com 地址:深圳市福田区中航路鼎诚国际南座18楼1814室

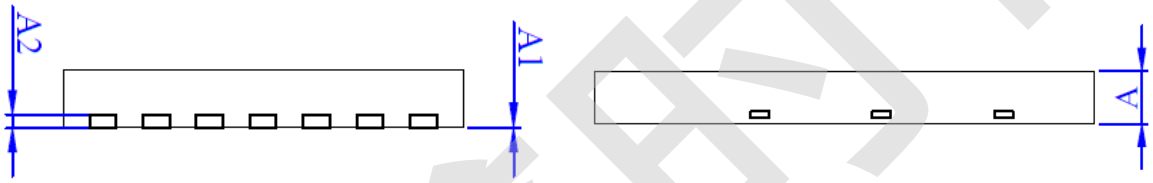
封装信息(DFN6X8)



Top view

Bottom view

Side view



Side view

COMMON DIMENSIONS
(UNITS OF MEASURE=MILLIMETER)

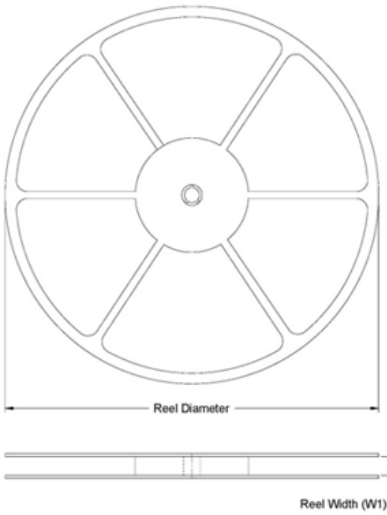
	SYMBOL	MIN	NOM	MAX
TOTAL THICKNESS	A	0.80	0.85	0.90
STAND OFF	A1	0.00	-	0.05
L/F THICKNESS	A2		0.203 REF	
LEAD WIDTH	b	0.35	0.40	0.45
LEAD WIDTH	b1	2.70	2.80	2.90
BODY SIZE X	D	7.90	8.00	8.10
EP SIZE X	D1	3.90	4.00	4.10
BODY SIZE Y	E	5.90	6.00	6.10
EP SIZE Y	E1	4.70	4.80	4.90
LEAD PITCH	e		0.80 BSC	
CHAMFERING	h	0.20	0.30	0.40
LEAD TO EP	k		0.80 MIN	
LEAD TO EP	k1		1.70 MIN	
LEAD TO EP	k2		1.80 MIN	
LEAD LENGTH	L	0.30	0.40	0.50
LEAD LENGTH	L1	0.575	0.675	0.775

电话:0755-83387360 手机：13826508770（王先生） 邮箱：3007605919@qq.com 网址：www.sztssd.com 地址:深圳市福田区中航路鼎诚国际南座18楼1814室

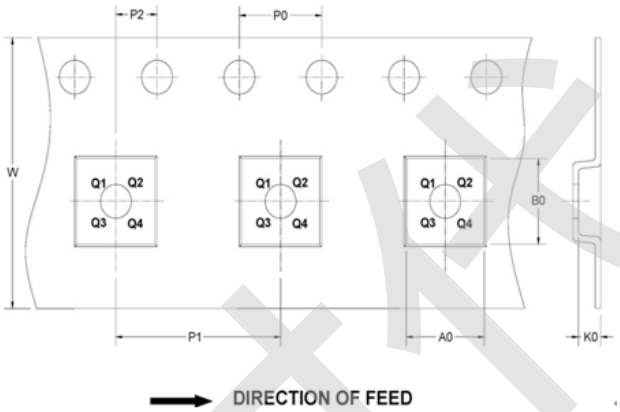
包装信息

TAPE AND REEL INFORMATION

REEL DIMENSIONS



TAPE DIMENSIONS



KEY PARAMETER LIST OF TAPE AND REEL

Device Name	Package Type	Reel Diameter	Unit: mm								Pin 1 Quadrant	Reel Q'ty
			Reel Width W1	A0	B0	K0	P0	P1	P2	W		
/	0.80DFN6X8-11-0.85	330	16.5	6.3	8.3	1.05	4	8	2	16	Q2	3000

电话:0755-83387360 手机：13826508770（王先生） 邮箱：3007605919@qq.com 网址：www.sztssd.com 地址:深圳市福田区中航路鼎诚国际南座18楼1814室