

## 宽供电范围高效率反激 PWM 控制器

### 1. 概述

MK2687X 是专为 PD/快充应用优化的多模式 PWM 控制器。其很宽的 VCC 工作电压范围(9V-90V) 可以使其覆盖 PD/PPS 从 3.3V-23V 的输出范围而不需要使用额外的绕组或者线性降压电路。

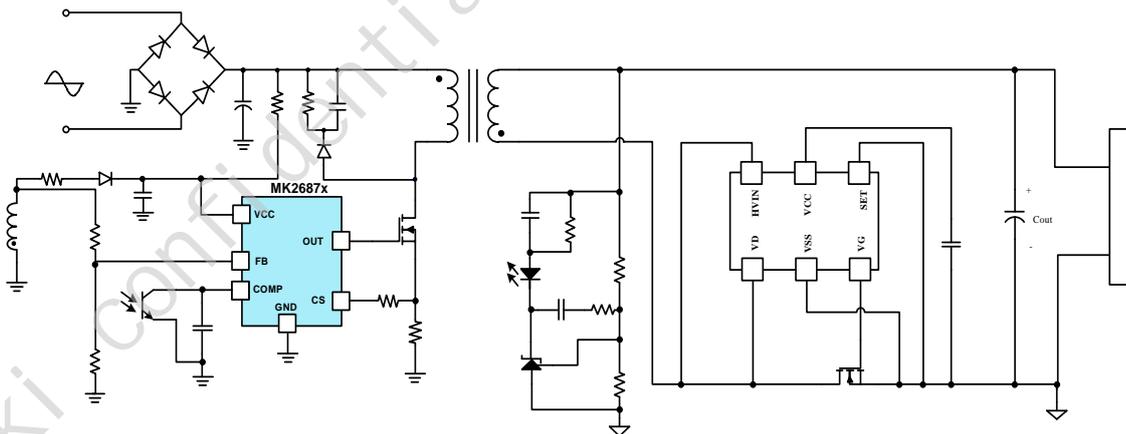
针对于能效要求, 由于 PD/快充有多个不同的输出电压, 因此采用了自适应的多模式。其不同负载以及不同输出下, 调整工作于 DCM/QR/CCM。在轻载时则会工作于 burst 模式, 以提升效率。其最高开关频率可达 130k Hz。

MK2687X 提供了全面的保护功能, 包含输出过压保护, VCC 过压保护, 过功率保护, Brown in/out 还提供了整流管短路保护, CS 短路保护等。

### 2. 典型应用

- AC/DC PD 适配器
- AC/DC 电源

### 4. 简化应用电路



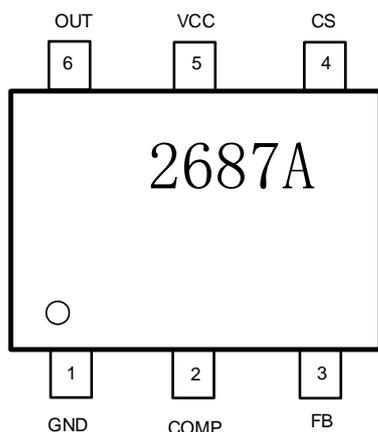
### 3. 特点

- 宽范围 VCC 工作电压(10V-88V)
- 针对于不同输出电压和负载的多模式控制
- 最高开关频率 130kHz (MK2687A)
- 最高开关频率 100kHz (MK2687B)
- 专有软启动电路可降低 SR Vds 应力
- 优化的效率容易满足能效标注
- 过功率 保护
- Brown in /Brown out 功能
- VCC 过压保护/Vo 过压保护
- 整流管短路保护
- 外部 OTP 设置保护
- 支持 PPS 宽范围输出
- SOT23-6 封装

## 5. 订购信息

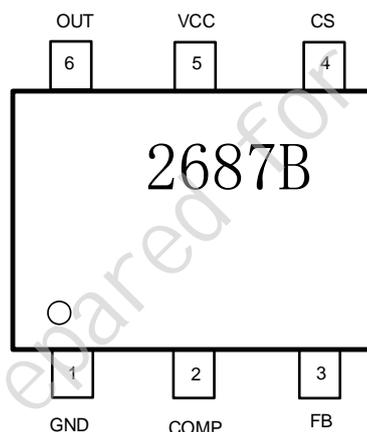
| 订购代码       | 描述                      |
|------------|-------------------------|
| MK2687AGSA | SOT23-6, 编带卷装, 3000 颗/卷 |
| MK2687BGSA | SOT23-6, 编带卷装, 3000 颗/卷 |

## 6. 引脚封装



SOT23-6

**MK2687A**



SOT23-6

**MK2687B**

### 极限参数范围 <sup>(1)</sup>

|               |                 |
|---------------|-----------------|
| VCC .....     | - 0.3V to +100V |
| COMP, FB..... | - 0.3V to +5.5V |
| CS.....       | -0.7V to +5.5V  |
| OUT .....     | - 0.3V to +20V  |
| 工作结温.....     | -40°C to +155°C |

### 推荐工作条件

|                               |            |
|-------------------------------|------------|
| VCC .....                     | 10V to 88V |
| 最高工作结温 (T) <sub>J</sub> ..... | +125°C     |

### 热阻 <sup>(2)</sup>

|              | $\theta_{JA}$ | $\theta_{JC}$ |
|--------------|---------------|---------------|
| SOT23-6..... | 100           | 66 °C/W       |

注:

(1) 超过这个范围可能会损坏芯片

(2) 在 JESD51-7, 4 layers PCB 上进行测量

## 7. ESD 性能

|                     |   | Value | Units |
|---------------------|---|-------|-------|
| ESD 参数<br>$V_{ESD}$ | 人体模型 (HBM), 根据 ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 测试标准对所有管脚进行了测试 <sup>(1)</sup> | ±2000 | V     |
|                     | 组件充电模型 (CDM), 根据 JEDEC JESD22-C101 标准对所有管脚进行了测试 <sup>(2)</sup>      | ±1000 | V     |

注:

- (1) 根据 JEDEC JEP155 标准要求, 标准安全生产需要的人体模型 (HBM) ESD 级别为 500V  
 (2) 根据 JEDEC JEP157 标准要求, 标准安全生产需要的组件充电模型 (CDM) ESD 级别为 250V

## 8. 电气参数

无特殊说明情况下,  $T_A=25^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{CC}=13\text{V}$ 。

| 参数                         | 符号                | 条件   | 最小值  | 典型值  | 最大值  | 单位 |
|----------------------------|-------------------|--|------|------|------|----|
| <b>供电电源部分(VCC 管脚)</b>      |                   |  |      |      |      |    |
| UVLO 欠压保护开启电压              | $V_{CC\_ON}$      | VCC 上升至开启  | 14.5 | 17   | 19.5 | V  |
| UVLO 欠压保护关闭电压              | $V_{CC\_OFF}$     | VCC 下降至关闭  | 6    | 7.2  | 8.5  | V  |
| UVLO 欠压保护迟滞 <sup>(1)</sup> | $V_{CC\_HYST}$    |  |      | 10   |      | V  |
| VCC 启动电流                   | $I_{STARTUP}$     |  | 2    | 5    | 10   | uA |
| VCC 正常工作电流                 | $I_{OP}$          | COMP=2V, FB pin pull<br>150uA, CS=1V, GATE=1nF<br>to GND | 1    | 1.4  | 2.5  | mA |
| Burst 工作模式电流               | $I_{burst}$       | COMP=0V, GATE=1nF to<br>GND                              | 200  | 280  | 400  | uA |
| VCC 保持阈值                   | $V_{CC\_HOLD}$    |  | 7    | 8.3  | 9.5  | V  |
| VCC 过压保护阈值                 | $V_{CC\_OVP}$     |  | 89   | 93   |      | V  |
| VCC 钳位阈值                   | $V_{CC\_CLAMP}$   |  |      | 103  |      | V  |
| <b>闭环控制部分(COMP 管脚)</b>     |                   |  |      |      |      |    |
| COMP 开环电压                  | $V_{COMP\_OP}$    | COMP 管脚开路  |      | 4.4  |      | V  |
| COMP 短路电流                  | $I_{COMP\_SHORT}$ | COMP=0V  | 100  | 160  | 250  | uA |
| Burst 模式进入阈值               | $V_{BM\_ET}$      |  | 0.3  | 0.34 | 0.4  | V  |

|                               |                        |          |      |                    |      |        |
|-------------------------------|------------------------|----------|------|--------------------|------|--------|
| Burst 模式迟滞电压                  | V <sub>BM_HY</sub>     |          | 0.02 | 0.05               | 0.09 | V      |
| OPP 过功率保护阈值                   | V <sub>OPP</sub>       |          | 2.8  | 3                  | 3.2  | V      |
| OPP 屏蔽时间 <sup>(1)</sup>       | T <sub>D_OPP</sub>     |          |      | T <sub>SS</sub> *6 |      | ms     |
| COMP 与 CS 的比例                 | A <sub>VCS</sub>       |          | 2.3  | 2.5                | 2.7  | V/V    |
| 斜坡补偿电压                        | V <sub>SLOPE</sub>     | Duty=75% |      | 0.3                |      | V      |
| <b>电流检测部分(CS 管脚)</b>          |                        |          |      |                    |      |        |
| 软启动时间                         | T <sub>SS</sub>        |          | 4    | 7                  | 10   | ms     |
| 前沿消隐时间                        | T <sub>LEB</sub>       |          |      | 280                |      | ns     |
| 整流管短路保护阈值 (OC FAULT)          | V <sub>SR_SH</sub>     |          | 1.1  | 1.2                | 1.3  | V      |
| 整流管短路保护触发周期 <sup>(1)</sup>    | T <sub>SR-SH</sub>     |          |      | 3                  |      | Cycles |
| 逐周期最大电流限制                     | V <sub>CS_CBC</sub>    |          | 0.7  | 0.77               | 0.84 | V      |
| <b>辅助绕组电压检测(FB 管脚)</b>        |                        |          |      |                    |      |        |
| 谷底检测电流阈值                      | I <sub>FB_VALLEY</sub> |          |      | 10                 |      | uA     |
| Brown in 电流阈值                 | I <sub>BNI</sub>       |          | 82   | 94                 | 106  | uA     |
| Brown out 电流阈值                | I <sub>BNO</sub>       |          | 74   | 85                 | 96   | uA     |
| Brown out 屏蔽时间 <sup>(1)</sup> | T <sub>BL_BNO</sub>    |          |      | T <sub>SS</sub> *7 |      | ms     |
| 输出过压保护阈值                      | V <sub>FB_OVP</sub>    |          | 3.3  | 3.6                | 3.9  | V      |
| 输出过压保护屏蔽时间 <sup>(1)</sup>     | T <sub>BL_OVP</sub>    |          |      | 7                  |      | cycles |
| 输出短路保护阈值                      | V <sub>FB_ST</sub>     |          | 0.15 | 0.2                | 0.25 | V      |
| 输出短路保护屏蔽时间 <sup>(1)</sup>     | T <sub>BL_ST</sub>     |          |      | 7                  |      | cycles |
| FB 采样时间                       | T <sub>SAMPL</sub>     | CS=0.5V  |      | 1.1                |      | us     |
| FB 高判断阈值                      | V <sub>FB_H</sub>      |          | 1.7  | 1.9                | 2.1  | V      |
| FB 中判断阈值                      | V <sub>FB_M</sub>      |          | 0.9  | 1                  | 1.1  | V      |
| <b>驱动部分</b>                   |                        |          |      |                    |      |        |
| 驱动低电平电压                       | V <sub>G_L</sub>       |          |      |                    | 0.5  | V      |

|                       |                   |                            |     |     |     |     |
|-----------------------|-------------------|----------------------------|-----|-----|-----|-----|
| 驱动高电平电压               | V <sub>G_H</sub>  | VCC=13V, Gate<br>Load=20mA | 8   |     |     | V   |
| 驱动高电平钳位电压             | V <sub>G_HC</sub> | VCC=V <sub>CC_OVP</sub>    |     | 11  |     | V   |
| 驱动上升时间                | Tr                | Cload=1nF                  |     | 210 |     | ns  |
| 驱动下降时间                | Tf                | Cload=1nF                  |     | 30  |     | ns  |
| <b>控制部分</b>           |                   |                            |     |     |     |     |
| 正常工作频率                | Fsw_nom           | MK2687A                    | 120 | 130 | 140 | kHz |
|                       |                   | MK2687B                    | 92  | 100 | 108 | kHz |
| 节能模式工作频率              | Fsw_green         |                            |     | 25  |     | kHz |
| 频率抖动范围 <sup>(1)</sup> |                   |                            |     | ±6  |     | %   |
| 频率抖动周期 <sup>(1)</sup> |                   |                            |     | 8   |     | ms  |
| 最大占空比                 | D <sub>MAX</sub>  |                            | 74  | 77  | 80  | %   |
| 过温保护 <sup>(1)</sup>   | ThSD              |                            |     | 155 |     | °C  |
| 过温保护迟滞 <sup>(1)</sup> | ThSD_hys          |                            |     | 30  |     | °C  |

注:

(1) 参数取决于设计

## 9. 管脚功能

| 管脚号 | 管脚名称 | 描述         |
|-----|------|------------|
| 1   | GND  | 地          |
| 2   | COMP | 电压反馈输入管脚   |
| 3   | FB   | 辅助绕组电压检测管脚 |
| 4   | CS   | 电流检测输入管脚   |
| 5   | VCC  | 芯片电源管脚     |
| 6   | OUT  | 驱动输出管脚     |

10. 内部功能框图

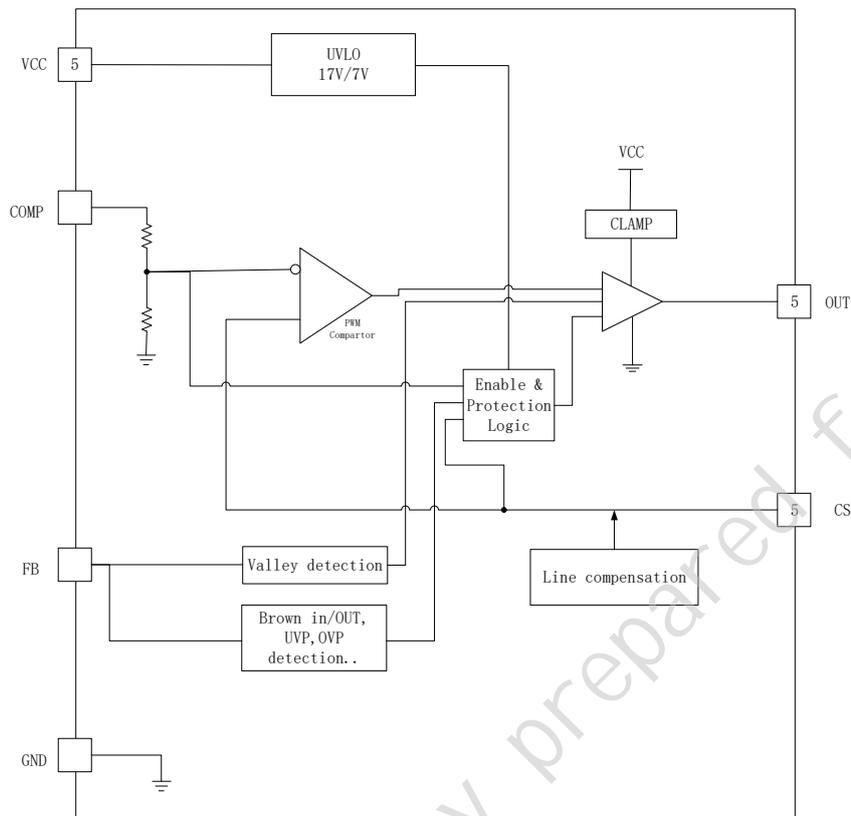


Figure 1. 内部功能框图

## 11. 功能描述

### 供电启动

启动时母线电容通过启动电阻给芯片 VCC 充电。由于芯片启动电流非常小 (~5 uA)，启动电阻可以取的比较大(选择阻值大小时也需要考虑启机延时)，以降低待机损耗。启动过程中，VCC 达到  $V_{CC\_ON}$  后，芯片发出脉冲。

### 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 电压的话，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，会造成系统工作于很深 CCM，带来较高的原副边应力。MK2687 采用了多段控制，以实现启动过程中原副边应力的优化。

### 工作曲线

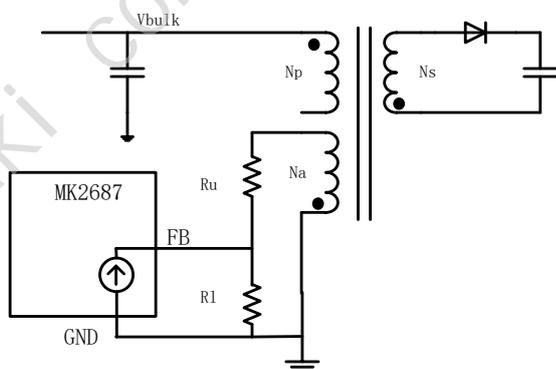
针对 PD 应用，芯片在不同的输出电压有不同的工作频率曲线。芯片通过在副边续流期间，检测 FB 脚电压，来判断输出电压并采用不同的频率曲线，以优化各个输出电压点的效率。

为了改善 EMI 影响，芯片也采用了抖频技术，频率会分布在 ±6% 的区间内。

### 输入欠压恢复(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 管脚流出的电流  $= \frac{V_{BULK} \cdot N_p}{R_u \cdot N_p}$ ，只有当此电流大于 IBNI 时，芯片才认为已经满足 BROWN IN 条件，进行正常启机。

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。



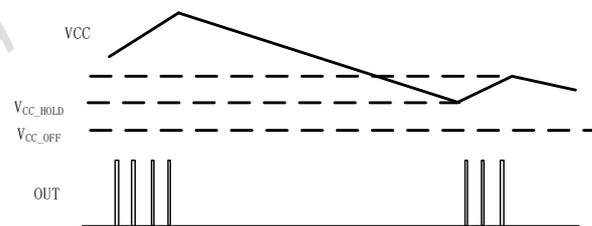
### 输入欠压(BROWN OUT)

在正常工作过程中，芯片也一直在原边 MOS 开通过程里，检测流出 FB 电流，当流出电流  $< I_{BNO}$ ，并且持续时间  $\geq T_{BL\_BNO}$  时，认为母线电压欠压，会关闭驱动输出。芯片进入重启过程。

### VCC 供电保持

负载特别轻，以及输出电压非常低时，VCC 电压约等于  $N_A \cdot V_O / N_S$ ，如果开关频率很低，则 VCC 电压可能会降的很低。芯片加入了供电保持模式，当 VCC 电压掉到  $V_{CC\_HOLD}$  后，芯片强制发出脉冲，以使 VCC 电压不会掉落到关机区间。由于强制脉冲的作用，VCC 会回升，当回升到 ~9.5V 后，芯片不再强制打脉冲。

但在系统设计中，希望通过设计 VCC 电容大小，辅助绕组匝比，最小负载等使 VCC 一直在  $V_{CC\_HOLD}$  以上，避免进入供电保持工作模式。因为进入此种模式是和环路调整相违背的，强制打脉冲会使输出电压上升，看起来增大了纹波。



### 控制机制

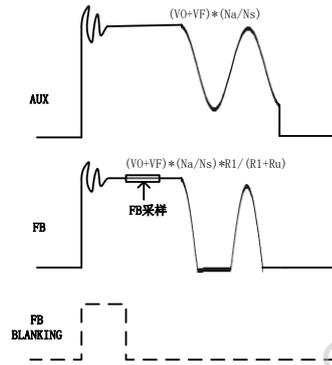
此芯片为电流型控制，将 CS 上检测电压在芯片内部和电压环反馈电压作比较，决定占空比大小。

由于驱动电流在 CS 电阻上产生电压，以及漏极节点上折算电容 CSW 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 采样电路中加入了前沿消隐。

芯片还实施了最大占空比限制，即无论何种状况，其最大占空比都不会超过  $D_{MAX}$ ，并且在占空比达到  $D_{MAX}$  时，会关掉驱动。

### 输入线补

在输入电压高或者低的时候，相同的关断延时带来了不同的峰值电流增量。即如果不同输入电压时，即使芯片看到相同的 VCS 时开始关断驱动，但实际的 IPK 峰值电流也会不同。会带来高低压输入，不同的限流点。MK2687X 采用了输入电压补偿，根据芯片检测到的输入电压不同，会补偿检测到的 CS 电压，以使得不同输入电压的限流点一致。



### 内部斜坡补偿

电流型控制在占空比超过 50% 时有次谐波震荡的问题，常用解决办法是加斜坡补偿。芯片内部增加了斜坡补偿功能，会自动根据不同的占空比调整补偿幅度，无需外部调节。

### 环路反馈

COMP 是副边输出经 TL431，光耦到原边的电压反馈环电压。其和电流信号进行比较，产生驱动。从环路调试角度考虑，建议在副边光耦二极管串联的电阻上留并联电容位置。

### 辅助绕组电压检测

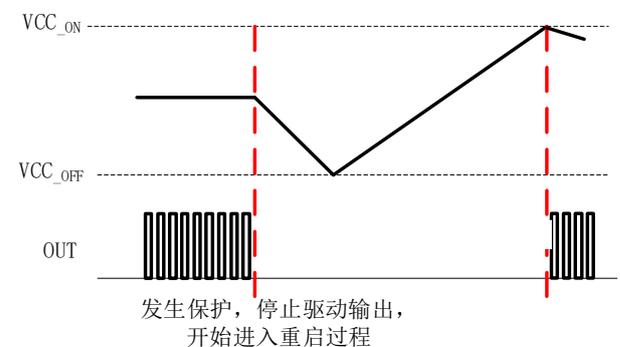
在副边电流续流时间内，FB 管脚上电压为辅助绕组电压的分压，间接反映了输出电压。通过采样 FB 在变压器去磁时间内的电压并和不同阈值进行比较，可以完成下述功能。  
 输出过压保护 VOUT\_OVP。FB 脚电压高于 VFB\_OVP 连续 7 个周期，发生保护并进入重启。  
 输出欠压保护 VOUT\_UVP (或称输出短路保护)。FB 脚低于 VFB\_ST 连续 7 个周期，发生保护并进入重启。  
 根据检测到的输出电压，以确定工作控制曲线。

### 谷底开通

在 DCM/QR 模式中，当副边续流结束。主功率 MOS COSS 和变压器激磁电感 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，当此电流达到 IFB\_VALLEY 后，芯片认为这是可能的谷底，延时后进行开通。

### 保护功能

诸如过功率、输出短路、整流管短路等保护，芯片保护机制为重启



| MK2687A/B 保护功能 | MK2687A/B 保护机制 |
|----------------|----------------|
| 过功率保护          | 重启             |
| 输出过压保护         | 重启             |
| VCC 过压保护       | 重启             |
| CS 短路保护        | 重启             |
| 同步整流短路保护       | 重启             |
| 输出短路保护         | 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 VO<sub>PP</sub> 且持续时间>TSS\*6, 芯片认为功率超出设计值, 发生过功率保护 OPP, 芯片进入重启过程。

## 逐周期最大电流限制

电流型控制芯片本身就把 CS 信号和 COMP 逐周期比较, 但是当诸如输出短路或者光耦开路状况下, COMP 电压可能会冲的很高, 导致原边峰值 IPK 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 VCS\_CBC 比较, 过了消隐时间 TLEB 后, 只要 CS 到了 VCS\_CBC 就立刻斩波。

## 整流管短路保护 (SSCP)

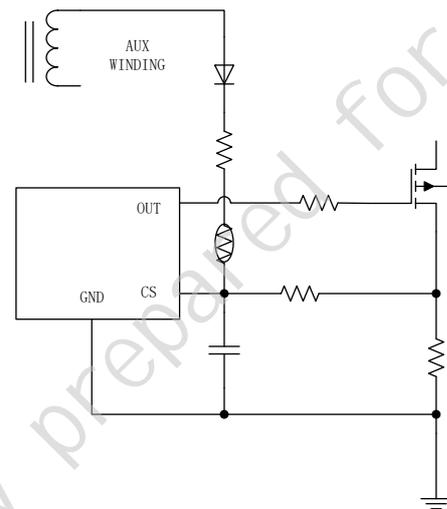
还有一种额外状况, 需要较短的消隐时间。即如果副边的同步整流 MOS 或者肖特基二极管短路, 则原边驱动发出后, 峰值电流会急剧增加, 需要快速的短路保护。如果在驱动发出后 TLEB\_SRSR, 芯片检测到 CS PIN 电压超过了 TSR\_SH, 则立即停止当前驱动输出。如果连续三个周期, 都发生此情况, 芯片认为发生了整流管短路状况, 停止驱动, 进入重启过程。

## VCC 过压保护

当 VCC 达到 VCC\_OVP 后, 芯片立刻停止驱动输出, 并进入重启过程。

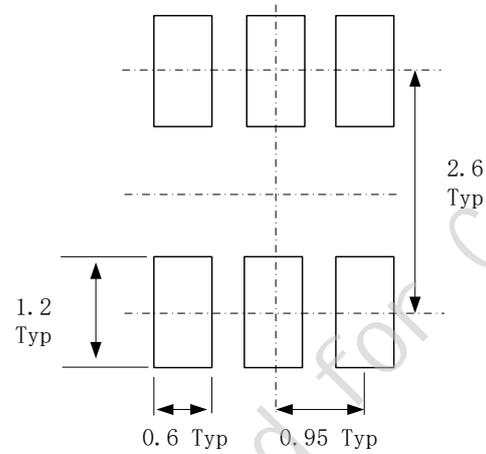
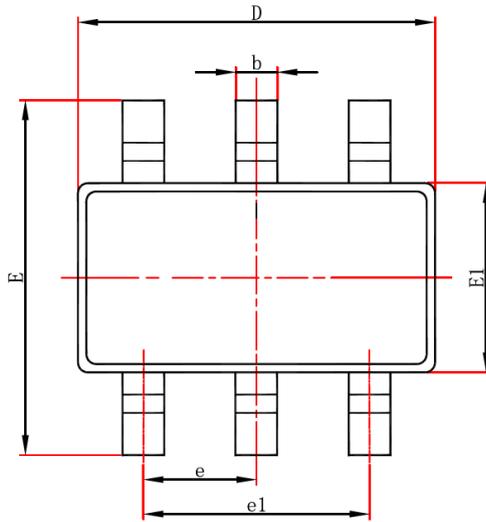
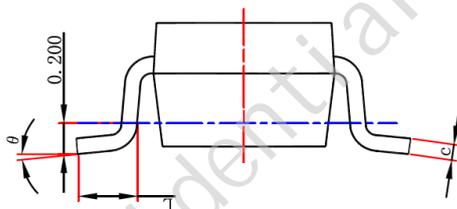
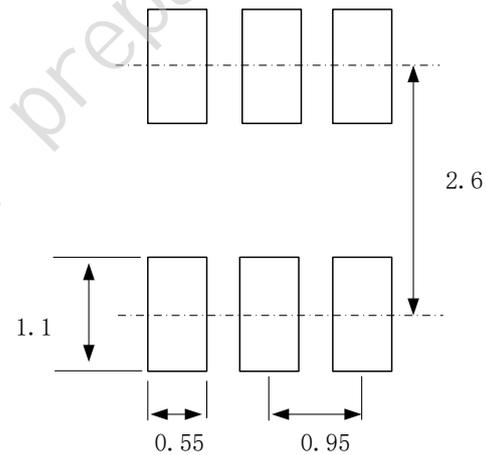
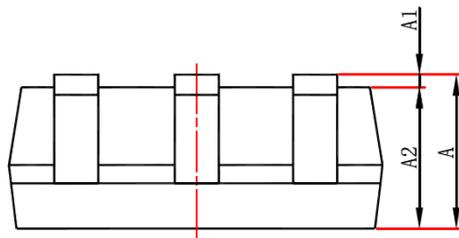
## 过温保护(OTP)

芯片提供了内部的 OTP 保护, 其触发点为 THSD。客户也可以通过增加外部 NTC 电阻的方式, 在 CS 管脚上实现 OTP 保护功能。即板上温度升高的时候, NTC 电阻阻值变低, 使得 CS 电阻上电压超过 VCS\_CBC 连续 15 个周期, 即发生保护, 并进入重启过程。



## 其他保护功能

MK2687X 亦提供了多种对芯片管脚异常连接的保护。临近 PIN 脚间的短路保护包括 PIN1&PIN2, PIN2&PIN3, PIN3&PIN4, PIN4&PIN5, PIN5&PIN6; 而当芯片的 PIN 脚未焊好以至于出现悬空状态, 芯片也会进入保护, 停止输出驱动。

**12. 封装尺寸(SOT23-6)**

**RECOMMENDED LAND PATTERN**

**RECOMMENDED STENCIL OPENINGS**

| Symbol   | Dimensions In Millimeters |       | Dimensions In Inches |       |
|----------|---------------------------|-------|----------------------|-------|
|          | Min.                      | Max.  | Min.                 | Max.  |
| A        | 1.050                     | 1.250 | 0.041                | 0.049 |
| A1       | 0.000                     | 0.100 | 0.000                | 0.004 |
| A2       | 1.050                     | 1.150 | 0.041                | 0.045 |
| b        | 0.300                     | 0.500 | 0.012                | 0.020 |
| c        | 0.100                     | 0.200 | 0.004                | 0.008 |
| D        | 2.820                     | 3.020 | 0.111                | 0.119 |
| E1       | 1.500                     | 1.700 | 0.059                | 0.067 |
| E        | 2.650                     | 2.950 | 0.104                | 0.116 |
| e        | 0.950(BSC)                |       | 0.037(BSC)           |       |
| e1       | 1.800                     | 2.000 | 0.071                | 0.079 |
| L        | 0.300                     | 0.600 | 0.012                | 0.024 |
| $\theta$ | 0°                        | 8°    | 0°                   | 8°    |