

## 描述

NE2281 是一款高性能、高集成度的多模式 PFC 控制器，具有高效率、低 THD、EMI 特性好等优点，主要应用于 Boost PFC 变换器。

NE2281 支持连续导通模式（CCM）、临界导通模式（CRM）和断续导通模式（DCM）运行。CCM 模式可以有效减小电感电流峰值，提升磁件利用率；DCM 模式根据实际电流切换不同的 Drain 电压振荡谷底数，优化小电流时的开关频率，三种模式在一个工频半波内自适应切换，变换器效率优化。

NE2281 集成丰富的功能，可针对实际场景应用优化设计。有源桥驱动功能有益于降低交流输入整流损耗；X-Cap 放电功能及内置环路可精简 IC 外围设计，除此之外，NE2281 还支持 IC 外围电阻设置开启/关闭 CCM 及阈值调整，以提升系统效率。

NE2281 内置 CCM 抖频技术，使得芯片具有良好的 EMI 性能。同时芯片集成了丰富的保护功能，包括：逐周期过流保护（OCP），过功率限制（OLP），VCC 欠压锁定（UVLO），内部过温保护（OTP），过电压保护（OVP）等。

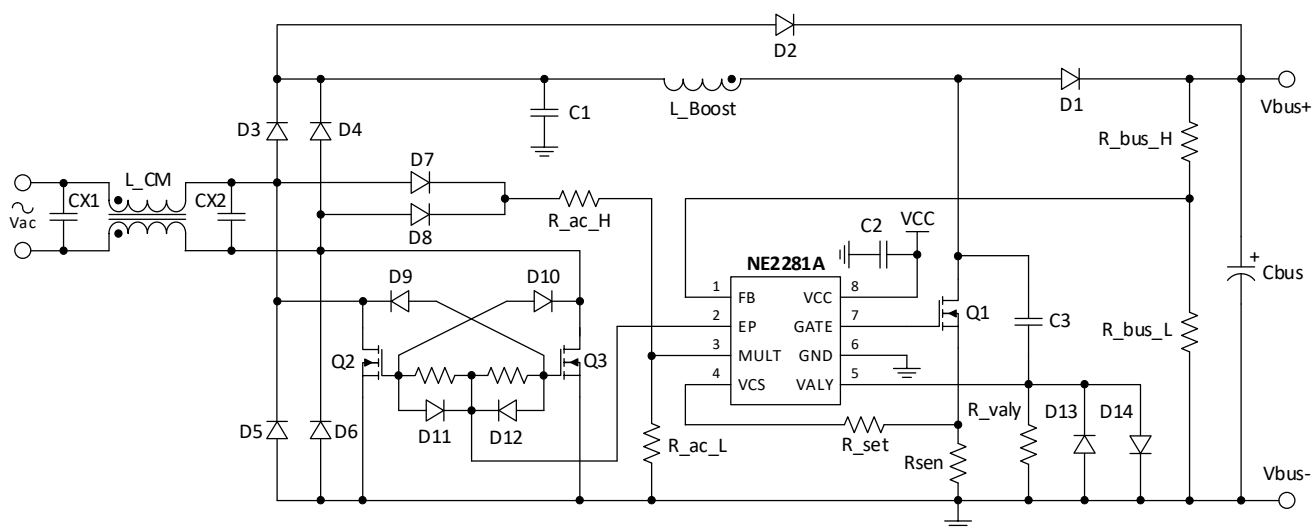
## 特点

- 多模式混合工作实现全负载范围高效率
- PF 补偿实现接近单位功率因数
- 内置环路，简化 IC 外围
- 内置频率抖动，良好 EMI 特性
- X-Cap 放电功能
- 输入电压前馈
- 输入 Brown-in/out 检测、SAG
- 开关管电流采样控制，成本低
- 输入、输出过压保护功能（OVP）
- 逐周期过流保护（OCP）
- 过功率限制功能（OLP）
- 内置 IC 过温度保护功能（OTP）
- 支持 CCM 阈值电阻配置调节
- SOP-8 封装

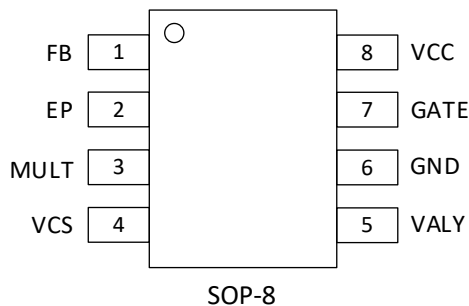
## 应用

- AC/DC 适配器、PD 快充电源
- PC 电源或一体机电源、电视机电源
- 工业，医疗等其它电源
- LED 照明

## 典型应用电路图



## 引脚封装



## 引脚功能描述

| 序号 | 名称   | 描述                                                                                 |
|----|------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | FB   | 母线电压采样反馈输入端。                                                                       |
| 2  | EP   | NE2281A: 有源桥驱动信号输出端; NE2281B: RELAY 控制信号输出端; NE2281C: PFC_OK 信号输出端; NE2281D: 通讯端口。 |
| 3  | MULT | 输入电压采样输入端。                                                                         |
| 4  | VCS  | 开关管电流检测输入端。                                                                        |
| 5  | VALY | 主开关管 Drain 谷底检测端。                                                                  |
| 6  | GND  | 芯片地。                                                                               |
| 7  | GATE | 主开关驱动输出端。                                                                          |
| 8  | VCC  | 芯片供电输入端, 外接滤波电容到芯片地。                                                               |

## 订购信息

| 型号       | EP 引脚功能   | 工作频率 <sup>(1)</sup> | RCS_SCP | 封装    | Logo     | 最小包装    |
|----------|-----------|---------------------|---------|-------|----------|---------|
| NE2281A1 | 有源桥驱动     | 65kHz               | OFF     | SOP-8 | NE2281A1 | 4000PCS |
| NE2281A2 | 有源桥驱动     | 100kHz              | OFF     | SOP-8 | NE2281A2 | 4000PCS |
| NE2281A3 | 有源桥驱动     | 130kHz              | OFF     | SOP-8 | NE2281A3 | 4000PCS |
| NE2281A4 | 有源桥驱动     | 100kHz              | ON      | SOP-8 | NE2281A4 | 4000PCS |
| NE2281B1 | RELAY 控制  | 65kHz               | OFF     | SOP-8 | NE2281B1 | 4000PCS |
| NE2281B2 | RELAY 控制  | 100kHz              | OFF     | SOP-8 | NE2281B2 | 4000PCS |
| NE2281B3 | RELAY 控制  | 130kHz              | OFF     | SOP-8 | NE2281B3 | 4000PCS |
| NE2281C1 | PFC_OK 信号 | 65kHz               | OFF     | SOP-8 | NE2281C1 | 4000PCS |
| NE2281C2 | PFC_OK 信号 | 100kHz              | OFF     | SOP-8 | NE2281C2 | 4000PCS |
| NE2281C3 | PFC_OK 信号 | 130kHz              | OFF     | SOP-8 | NE2281C3 | 4000PCS |
| NE2281D1 | 通讯功能      | 65kHz               | OFF     | SOP-8 | NE2281D1 | 4000PCS |
| NE2281D2 | 通讯功能      | 100kHz              | OFF     | SOP-8 | NE2281D2 | 4000PCS |
| NE2281D3 | 通讯功能      | 130kHz              | OFF     | SOP-8 | NE2281D3 | 4000PCS |

注:

1. PFC CCM 模式的参考工作频率, 其他特殊频率可定制。

## 极限参数

| 参数                  | 最小值  | 最大值 | 单位 |
|---------------------|------|-----|----|
| FB 输入电压             | -0.4 | 5.5 | V  |
| MULT 输入电压           | -0.4 | 5.5 | V  |
| VALY 输入电压           | -0.4 | 14  | V  |
| VCS 输入电压            | -1.5 | 5.5 | V  |
| VCC 电压              | -0.4 | 35  | V  |
| GATE 输出电压           | -0.4 | 14  | V  |
| EP 输出电压             | -0.4 | 14  | V  |
| 最小/最大工作结温度 $T_J$    | -40  | 125 | °C |
| 最小/最大存储温度 $T_{stg}$ | -50  | 150 | °C |
| 焊接温度（焊锡，10secs）     |      | 260 | °C |

注：

1. 最大极限值是指超出该工作范围，芯片有可能损坏。
2. 测试数据基于指定 PCB。

## 推荐工作范围

| 参数         | 值          | 单位 |
|------------|------------|----|
| VCC 电压     | -0.4 to 30 | V  |
| 结点温度 $T_J$ | -40 to 125 | °C |

注：

1. 芯片不保证在其工作条件之外运行的可靠性。

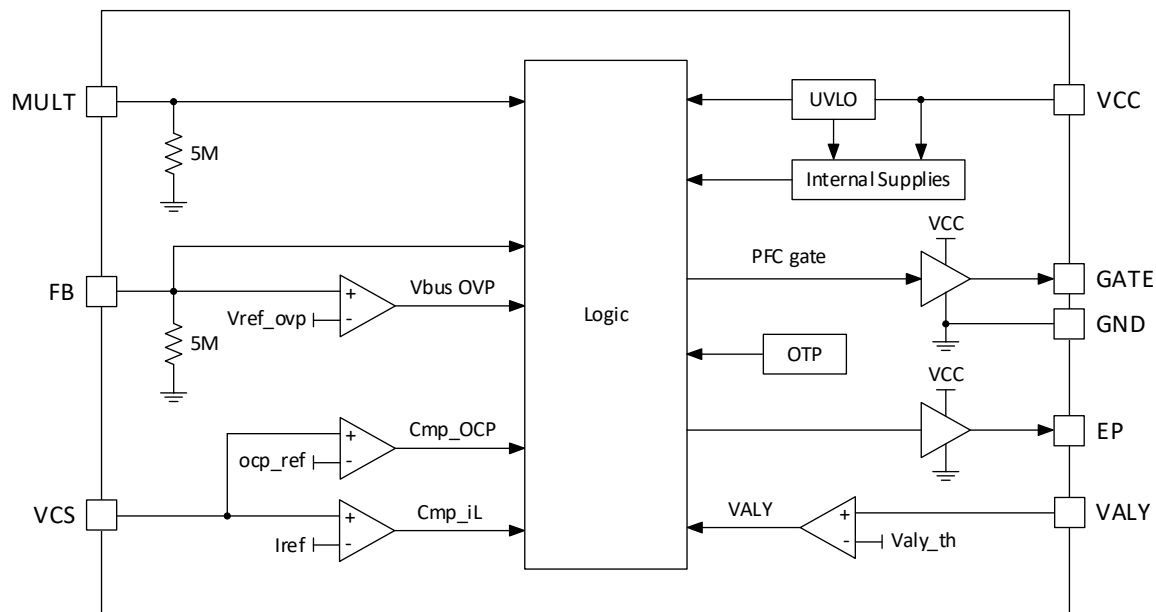
## 热阻信息

| 参数                            | 值  | 单位   |
|-------------------------------|----|------|
| 结到周围环境的热阻 $\theta_{JA}^{(1)}$ | 90 | °C/W |
| 结到管壳的热阻 $\theta_{JC}^{(1)}$   | 45 | °C/W |

注：

1. 测试数据基于指定 PCB。

## 内部框图



## 电气参数

(TA = 25°C, VCC = 12V, 除非特别注明)

| 符号                     | 参数              | 测试条件                                           | 最小值  | 典型值   | 最大值 | 单位  |
|------------------------|-----------------|------------------------------------------------|------|-------|-----|-----|
| 电源电压 (VCC)             |                 |                                                |      |       |     |     |
| V <sub>CC_ON</sub>     | 退出 VCC 欠压锁定电压   | VCC 电压上升                                       |      | 12.5  |     | V   |
| V <sub>CC_OFF</sub>    | 进入 VCC 欠压锁定电压   | VCC 电压下降                                       |      | 9.5   |     | V   |
| I <sub>CC_START</sub>  | 启动电流            | V <sub>CC</sub> = 10V                          |      | 55    |     | uA  |
| I <sub>CC_BURST</sub>  | 待机电流            | 无开关状态下, FB > V <sub>FB_ref_eq</sub>            |      | 0.75  |     | mA  |
| I <sub>CC_Q</sub>      | 静态电流            | 无开关状态下, FB = 0V                                |      | 3.2   |     | mA  |
| 门极驱动 (GATE)            |                 |                                                |      |       |     |     |
| t <sub>R</sub>         | 驱动上升时间          | C <sub>L</sub> = 1ns, 10% - 90%输出电压            |      | 30    |     | ns  |
| t <sub>F</sub>         | 驱动下降时间          | C <sub>L</sub> = 1ns, 10% - 90%输出电压            |      | 20    |     | ns  |
| I <sub>Source</sub>    | 拉电流             | V <sub>GATE</sub> = 4V, V <sub>CC</sub> = 15V  |      | 0.55  |     | A   |
| I <sub>Sink</sub>      | 灌电流             | V <sub>GATE</sub> = 10V, V <sub>CC</sub> = 15V |      | 1     |     | A   |
| V <sub>OH</sub>        | 输出高电平           | V <sub>CC</sub> = 27V                          | 10.5 | 12    | 14  | V   |
| V <sub>OL</sub>        | 输出低电平           | I <sub>L</sub> = -10mA, V <sub>CC</sub> = 15V  |      | 100   | 200 | mV  |
| f <sub>sw_min</sub>    | 最低开关频率限制        | 最低开关频率                                         |      | 30    |     | kHz |
| 电流采样模块 (VCS)           |                 |                                                |      |       |     |     |
| V <sub>CS_OCP</sub>    | 过流保护阈值          | 过流保护的电压参考                                      |      | 0.45  |     | V   |
| t <sub>LEB_OCP</sub>   | 过流保护的前沿消隐时间     | OCF 比较器的 blanking 时间                           |      | 100   |     | ns  |
| t <sub>LEB_CMP</sub>   | 环路比较器前沿消隐时间     | 环路比较器的 blanking 时间                             |      | 200   |     | ns  |
| Drain 谷底检测 (VALY)      |                 |                                                |      |       |     |     |
| V <sub>VALY_th_H</sub> | VALY 电压上升阈值     | 过零检测, V <sub>VALY</sub> 上升                     |      | 0.1   |     | V   |
| V <sub>VALY_th_L</sub> | VALY 电压下降阈值     | 过零检测, V <sub>VALY</sub> 下降                     |      | -0.12 |     | V   |
| 反馈输入 (FB)              |                 |                                                |      |       |     |     |
| V <sub>FB_ref_eq</sub> | 闭环等效参考值         |                                                |      | 2.5   |     | V   |
| V <sub>OVP_1</sub>     | 快速过压保护阈值        | 响应时间: us 级别                                    |      | 112   |     | %   |
| V <sub>OVP_2</sub>     | 慢速过压保护阈值        | 响应时间: 百 us 级别                                  |      | 108.5 |     | %   |
| V <sub>fast_H</sub>    | 快环阈值_H          |                                                |      | 105.5 |     | %   |
| V <sub>fast_L</sub>    | 快环阈值_L          |                                                |      | 94.5  |     | %   |
| R <sub>FB_pu</sub>     | FB 内置下拉电阻       | 与外部电阻一同构成采样分压                                  |      | 5     |     | MΩ  |
| 输入电压检测 (MULT)          |                 |                                                |      |       |     |     |
| V <sub>BOH</sub>       | brown-in 阈值     | 输入电压峰值                                         |      | 730   |     | mV  |
| V <sub>BOL</sub>       | brown-out 阈值    | 输入电压峰值                                         |      | 663   |     | mV  |
| t <sub>BO_blank</sub>  | brown-out 的延迟时间 |                                                |      | 60    |     | ms  |
| V <sub>HL</sub>        | 高输入电压阈值         | 输入电压峰值                                         |      | 1.41  |     | V   |
| V <sub>LL</sub>        | 低输入电压阈值         | 输入电压峰值                                         |      | 1.33  |     | V   |
| R <sub>MULT_pu</sub>   | MULT 内置下拉电阻     | 与外部电阻一同构成采样分压                                  |      | 5     |     | MΩ  |

| 增强型多功能引脚（EP）           |           |                                |  |     |  |    |
|------------------------|-----------|--------------------------------|--|-----|--|----|
| $V_{OH}$               | 高电平       | $V_{CC} = 27V$                 |  | 12  |  | V  |
| $V_{OL}$               | 低电平       | $I_L = -10mA, V_{CC} = 15V$    |  | 100 |  | mV |
| $I_{Source}$           | 拉电流       | $V_{GATE} = 4V, V_{CC} = 15V$  |  | 8   |  | mA |
| $I_{Sink}$             | 灌电流       | $V_{GATE} = 10V, V_{CC} = 15V$ |  | 43  |  | mA |
| 过温保护（THERMAL SHUTDOWN） |           |                                |  |     |  |    |
| $T_{LIMIT}$            | 过温保护阈值    | 过温保护阈值                         |  | 150 |  | °C |
| $H_{TEMP}$             | 过温保护/恢复回差 | 过温保护/恢复的回差                     |  | 30  |  | °C |

## 功能描述

NE2281 是一款高性能多模式的 PFC 控制器，支持连续导通模式（CCM）、临界导通模式（CRM）和断续导通模式（DCM），能在一个工频半波内自动切换，优化效率。CCM 模式减少电感电流峰值，提升磁件效率；DCM 模式根据负载自动调整开关频率，提高轻载时的效率。

这款控制器集成了多种功能，如有源桥驱动功能，可以减少整流损耗，X-Cap 放电功能，去掉放电电阻，优化待机功耗，以及通过外部电阻调整模式切换阈值来提升效率。NE2281 还内置了 CCM 抖频技术，以优化 EMI 性能。

芯片集成了丰富的保护功能，包括：逐周期过流保护（OCP），过功率限制（OLP），VCC 欠压锁定（UVLO），内部过温保护（OTP），过电压保护（OVP）等，确保系统的稳定运行。

## 多模式工作方式

NE2281 支持多模式工作，较大输入电流时工作在 CCM 模式，中等输入电流时工作在 CRM 模式，较小输入电流时工作的 DCM 模式。在任何一种模式下工作，PFC 控制都不失真，轻重载 PF/THD 性能都表现优异。并且，NE2281 可通过 VCS 引脚滤波电阻  $R_{set}$  进行模式切换阈值设置，实现全范围性能优化。

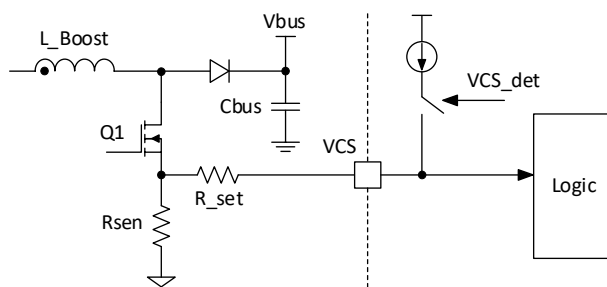


图 1. VCS 引脚配置图

首次上电时，Brown-in 后，打开恒流源开关  $VCS\_det$ ，检测 VCS 引脚电压后选定切换阈值，配置完成后关闭恒流源。VCS 引脚配置电阻  $R_{set}$  需按照下表选择。

表 1:  $R_{set}$  配置电阻选择

| NO | $R_{set}$ ( $\Omega$ ) | CCM 使能  | CCM 阈值 (V) |
|----|------------------------|---------|------------|
| 1  | 1K                     | Disable | 0.15       |
| 2  | 620                    | Enable  | 0.15       |
| 3  | 330                    | Enable  | 0.12       |
| 4  | 150                    | Enable  | 0.08       |

当 CCM 阈值  $VCS\_CCM$  选择完成后，芯片会根据 CCM 阈值自动配置 CRM 阈值及 DCM 下相关阈值，其中 CRM 阈值  $VCS\_CRM$  等于 0.8 倍  $VCS\_CCM$ 。

如下图所示，重载时输入电流比较大，峰值处输入电流瞬时值  $I_{in}$  乘以采样电阻  $R_{sen}$  超过 CCM 阈值，进入 CCM 工作。当  $VCS\_CRM < I_{in} * R_{sen} < VCS\_CCM$  时，系统工作在 CRM 状态。当  $I_{in} * R_{sen} < VCS\_CRM$  时，芯片工作在 DCM 模式，NE2281 会根据系统  $I_{in}$  的值，自动调节 DCM 模式下的谷底数。多模式的控制方式，输入低压重载时，峰值处进入 CCM 工作，边上相角工作在 CRM 模式和 DCM 模式；中载时，输入电流减小，系统只工作在 CRM 模式和 DCM 模式。轻载时，输入电流进一步减小，系统工作在 DCM 状态。

需要注意的是，当  $R_{set}$  选择 1K $\Omega$  时，芯片 CCM 模式不使能，因此只要  $I_{in} * R_{sen} > VCS\_CRM$ ，系统都工作在 CRM 模式。

系统工作模式切换阈值受采样电阻  $R_{sen}$  影响，调整  $R_{sen}$  可实现系统优化。

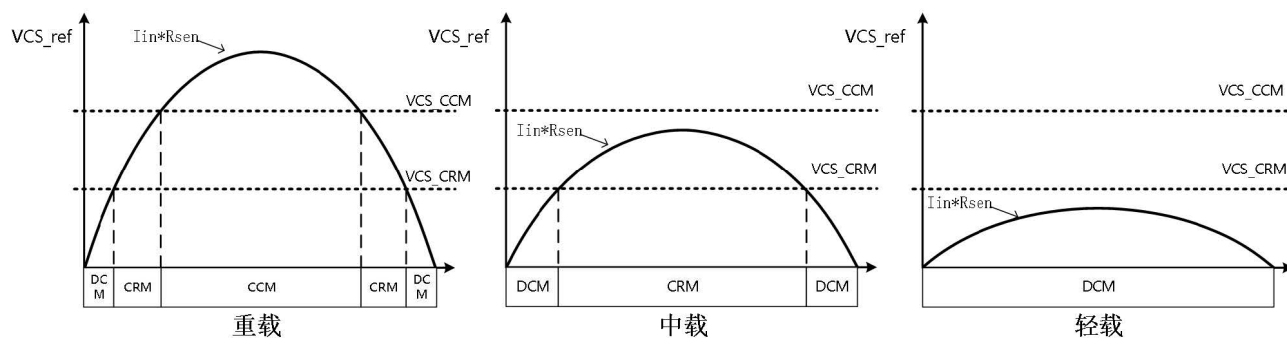


图 2. 多模式工作示意图

## 间隙工作模式

NE2281 通过进入间歇工作模式（Burst mode）来减小轻载下的待机功耗。如下图所示为进入 Burst\_mode 的系统时序。由于芯片内部环路的输出量  $V_{comp}$  可以看作是系统功率的一个映射，当负载变轻时， $V_{comp}$  逐渐减小，直到低于芯片设定值  $Burst\_th$ ，将  $V_{comp}$  值钳位，系统进入间歇工作模式。但此时系统不会立刻关闭驱动，由于  $V_{comp}$  被钳位，无法继续下降，母线电压将上升。当母线电压达到设定的阈值（正常工作电压  $V_{bus\_ref} + \Delta$ ）后，系统关闭驱动。当开关管关闭一段时间后，母线电压会逐渐跌落，当其跌落到基准设定值时，NE2281 会自动寻找固定的工频相角开通功率管。

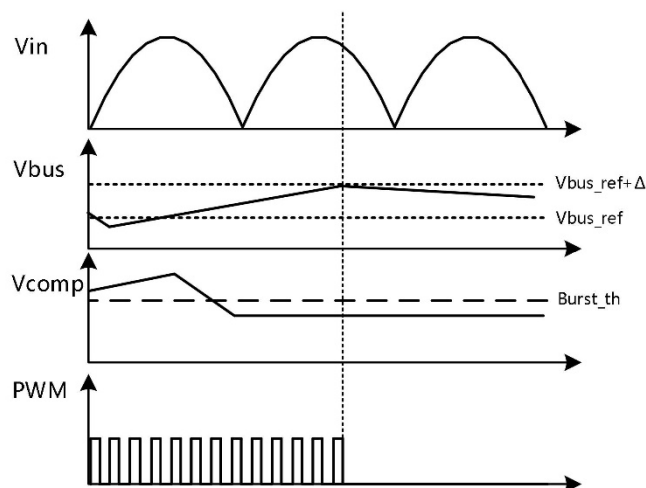


图 3. 间隙工作示意图

## 谷底检测 VALY

CRM 和 DCM 模式工作时，Boost 工作在准谐振模式可有效降低开关损耗，同时优化 EMI 性能。如下图，NE2281 通过 VALY 引脚采样 MOS 管的 Drain 的斜率信号来判断开关管震荡谷底时刻，来开通功率管 Q1。C3 和  $R_{valy}$  是 Drain 斜率信号检测电路，D13 和 D14 是钳位电路，C3 推荐使用 5pF， $R_{valy}$  推荐使用 4.3K，通过  $R_{valy}$  可调整谷底检测灵敏度，建议调整范围 1K~10K。

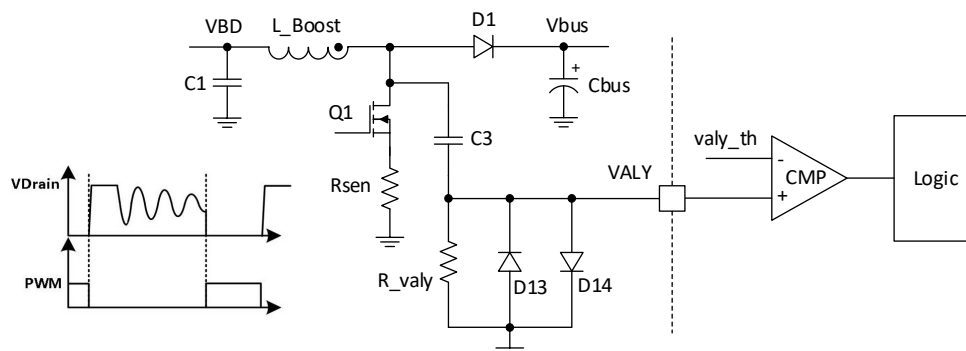


图 4. 谷底检测电路图

## 输入电压检测 MULT

MULT 引脚在芯片正常工作时用来采样输入电压，输入电压经过外部分压电阻后进入 MULT 引脚。输入电压信号用作环路的前馈信号参与控制，同时作为输入 Brown-in/out 以及 OVP 保护等功能的判断依据。

在有源桥的版本中，输入电压信号用作有源桥开启和关断，只有输入电压高于一定值，有源桥才允许打开，避免过零错相。

考虑 MULT 引脚开路保护，MULT 内置 5Mohm 电阻连接到 GND，引脚开路时，MULT 电压内部拉低，因此不会进入 Brown-in 状态。在系统设计时，需考虑该内置电阻对分压增益的影响，该电阻等效并联于外部下分压电阻。

如图，R\_ac\_L 为输入电压采样下分压电阻，考虑优化待机功耗，推荐使用 100K。R\_ac\_H1、R\_ac\_H2、R\_ac\_H3 是输入电压采样上分压电阻，由于输入电压采样信号和输出电压采样信号通过运算器产生输入电流参考信号，输入采样比例需与输出电压比例保持一致才能达到最优控制。

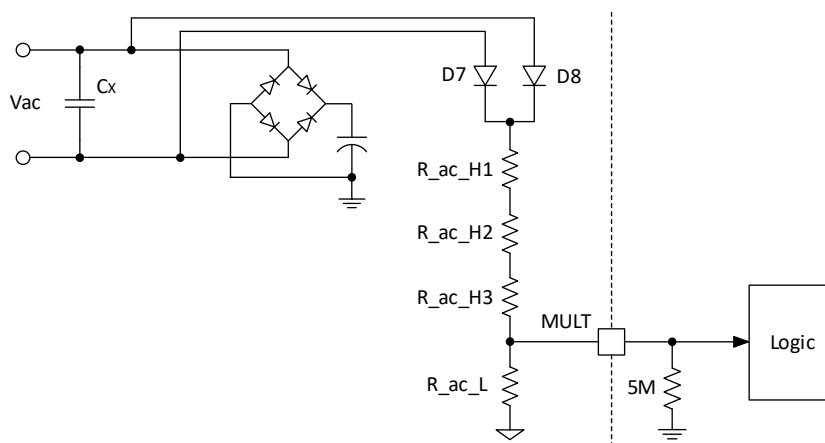


图 5. 输入检测电路图

## 输出电压检测 FB

FB 引脚用来采样输出母线电压，Vbus 经过外部分压电阻分压后送到 FB 引脚。芯片内部将 FB 引脚的信号进行滤波后用作输出电压闭环控制，同时，该信号也用作母线快速过压保护 112%、慢速过压保护 108.5%、快环触发（105.5%、94.5%）以及短路保护的判断。

当 FB 检测到电压高于基准 2.5V 的 112%（us 级别），判断为快速过压保护，立即关闭驱动。当 FB 检测到电压高于基准的 108.5%持续一段时间（百 us 级别），判断为慢速过压保护，驱动关闭，等待 FB 电压低于 2.5V 才恢复驱动。当 FB 检测到电压高于基准的 105.5%，或者低于基准的 94.5%，判断为动态，芯片启用快环以快速响应。当 FB 引脚低于一定值时，触发短路保护不开机。

如图，R\_bus\_L 为输出电压采样下分压电阻，考虑到待机时的功耗优化，推荐使用 100K。R\_bus\_H1、

R\_bus\_H2、R\_bus\_H3 是输出电压采样上分压电阻，阻值根据 Vbus 电压需要设计。考虑芯片最优化控制，FB 采样增益与 MULT 采样增益需保持一致。

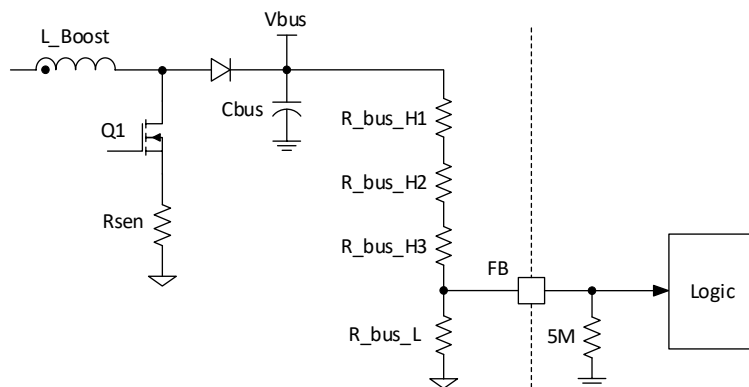


图 6. 输出检测电路图

## 多功能引脚 EP

NE2281 不同版本的 EP 引脚可以实现不同的功能：

NE2281A 版本可以作为有源桥驱动信号，直接驱动有源桥功率管的开关，输入电压高于一定值时才允许开通有源桥；

NE2281B 版本可以作为继电器的驱动信号，VCC 供电 UVLO\_ON 后 12ms 出驱动信号，输入欠压、过压、或者母线短路后关闭驱动；

NE2281C 版本可以作为 PFC\_OK 信号给到后级，母线上升到 94% 闭环值以上，PFC\_OK 为高，下降到 80% 闭环值以下，PFC\_OK 为低。

NE2281D 版本作为通讯引脚使用，实现实时监控的功能。用户使用实时监控功能，需遵循固定的单线串口读取协议。需要注意的是，任何版本的应用，EP 引脚都是 12V 幅值输出。如图是 NE2281A 和 NE2281B 的 EP 功能典型应用接法。

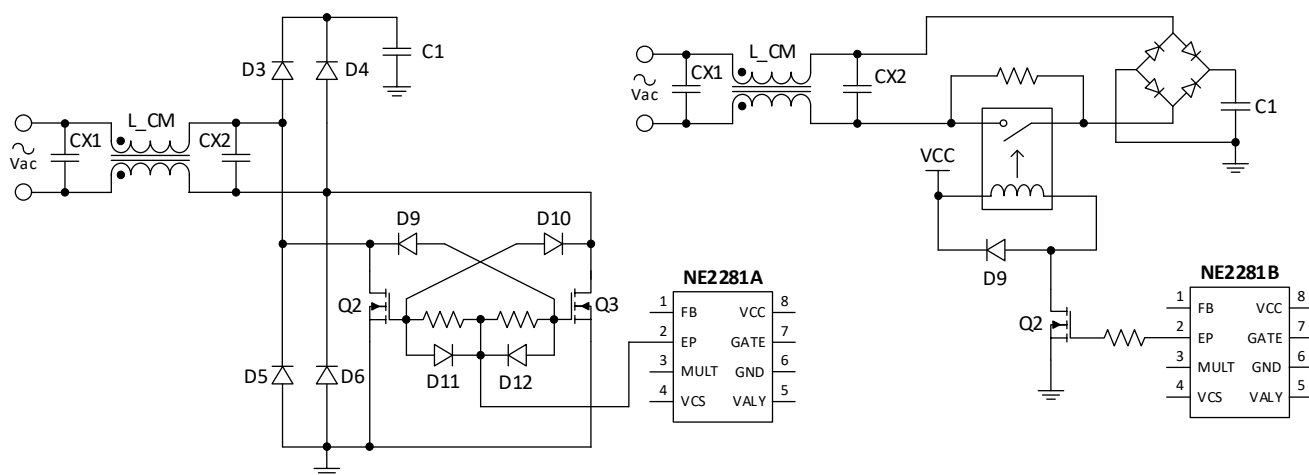


图 7. EP 功能典型应用电路图

## 功率管驱动及 X-Cap 放电 GATE

GATE 引脚为正常工作时的驱动输出引脚，还作为 X-Cap 放电执行脚，当输入电压掉电以后，后级系统可能处于关机状态，此时对于前级 PFC 来说，系统处于空载状态，输入侧 X-Cap 上的残留电压无法通过母线端放掉。根据电源安规要求，X-cap 上的电压需在 1s 内放到安全电压之下。NE2281 通过使能变换器以较小功率工作一段时间，将 X-Cap 上的能量传输到母线电解。

## 开机软启动

当输入电压达到启动要求（Brown-in）时，芯片对相关引脚进行短路/开路检测，若检测不通过，则禁止开机。当开路和短路检测完成后，则允许开机。起机以后，母线电压的参考从输入电压峰值开始逐渐上升，最终达到设定参考值。其过程如下图所示。

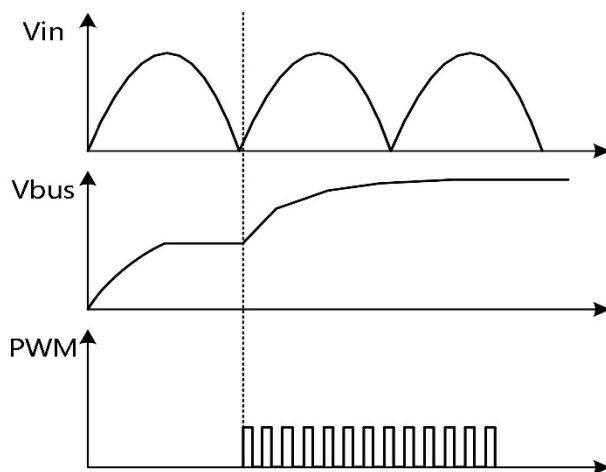


图 8. 软启动示意图

## 保护总表

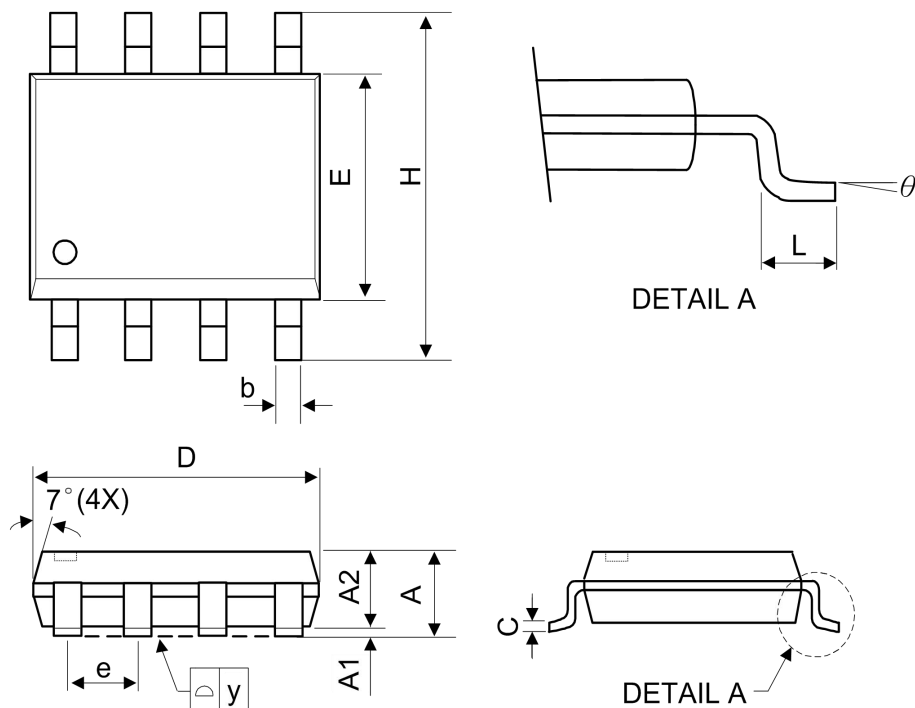
NE2281 具备丰富的保护功能，包括：逐周期过流保护（OCP），过载保护（OLP），VCC 欠压锁定（UVLO），内部过温保护（OTP），过电压保护（OVP）等，下表列出了所有的保护方式。

表 2：保护总表

| No. | Protection  | Description                   | Action                              |
|-----|-------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| 1   | VCC 欠压保护    | VCC 电压低于欠压保护阈值                | 关闭驱动；VCC>V <sub>CC_ON</sub> 重启；实时保护 |
| 2   | 输入欠压保护 BIBO | 输入低于 Brown-out 阈值             | 关闭驱动；输入高于 Brown-in 重启；实时保护          |
| 3   | 输出快速过压保护    | 输出高于闭环 112%                   | 关闭驱动；实时保护                           |
| 4   | 输出慢速过压保护    | 输出高于闭环 108.5% 一段时间            | 关闭驱动；FB<2.5V 重启；实时保护                |
| 5   | 逐周期过流保护     | VCS 超过 OCP 保护阈值               | 逐周期保护                               |
| 6   | 过功率限制       | 芯片内部 V <sub>comp</sub> 超过保护阈值 | 限制电流参考；实时保护                         |
| 7   | VCS 开机短路保护  | 开机时测试脉冲时间内，VCS 未达到阈值          | 不开机；VCC 掉电重启；开机保护                   |
| 8   | FB 短路保护     | FB 电压小于阈值                     | 不开机；故障清除恢复；开机保护                     |
| 9   | 内部过温保护（OTP） | 芯片内部过温超 150°C                 | 关闭驱动；温度 120°C 以下恢复；实时保护             |

## 封装信息

### SOP-8



| Symbol | Millimetre |      |      | Inch      |       |       |
|--------|------------|------|------|-----------|-------|-------|
|        | Min        | Typ  | Max  | Min       | Typ   | Max   |
| A      | -          | -    | 1.75 | -         | -     | 0.069 |
| A1     | 0.1        | -    | 0.25 | 0.04      | -     | 0.1   |
| A2     | 1.25       | -    | -    | 0.049     | -     | -     |
| C      | 0.1        | 0.2  | 0.25 | 0.0075    | 0.008 | 0.01  |
| D      | 4.7        | 4.9  | 5.1  | 0.185     | 0.193 | 0.2   |
| E      | 3.7        | 3.9  | 4.1  | 0.146     | 0.154 | 0.161 |
| H      | 5.8        | 6    | 6.2  | 0.228     | 0.236 | 0.244 |
| L      | 0.4        | -    | 1.27 | 0.015     | -     | 0.05  |
| b      | 0.31       | 0.41 | 0.51 | 0.012     | 0.016 | 0.02  |
| e      | 1.27 BSC   |      |      | 0.050 BSC |       |       |
| y      | -          | -    | 0.1  | -         | -     | 0.004 |
| θ      | 0°         | -    | 8°   | 0°        | -     | 8°    |