



TEA2016AAT

适用于高效谐振电源的数字控制器

第 1.1 版 — 2019 年 11 月 25 日

产品数据手册

1. 简介

TEA2016AAT 是一款面向高效谐振电源的数字可配置 LLC 和 PFC 组合控制器。同时集成了 LLC 控制器功能以及 DCM 和 QR 模式下工作的 PFC 控制器。借助 TEA2016AAT 可以构建出完整的谐振电源，不仅设计简单，所需组件数也很少。TEA2016AAT 采用薄型窄体 SO16 封装。

TEA2016AAT 数字架构基于高速可配置硬件状态机，为获得高度可靠的实时性能提供了保障。在电源开发过程中，可以调节 LLC 和 PFC 控制器的多种工作和保护设置，只需把新设置载入器件即可达到具体的应用需求。而且可以全面保护这些配置，防止未经授权复制 TEA2016AAT 专有配置内容。

与传统的谐振拓扑相反，TEA2016AAT 采用低功率模式，可在低负载下保持非常高的效率。该模式在连续开关（也称为高功率模式）和突发模式之间的功率区域运行。

由于 TEA2016AAT 通过主电容电压调节系统输出电压，因此可提供关于输送到输出端的功率的准确信息。该测量的输出功率决定了运行模式（突发模式、低功率模式或高功率模式）。可以轻松地把不同工作模式的转换电平编入器件。

TEA2016AAT 包含所有保护，如过热保护 (OTP)、过流保护 (OCP)、过压保护 (OVP)、过功率保护 (OPP)、开环保护 (OLP) 和电容模式调节 (CMR)。通过将参数编入器件内部，可以独立且准确地配置所有这些保护。

该器件包含用于高压启动的低压和高压硅技术、集成式驱动器、电平转换器、保护和零电压开关保障电路。

TEA2016AAT/TEA1995T 的组合让我们能够轻松地设计高效可靠的电源，这些电源提供 90 W 至 500 W 的功率，而且外部元器件数非常少。该系统提供非常低的空载输入功率 (< 75 mW；整个系统包括 TEA2016AAT/TEA1995T 组合)，在最低到最高的负载下均保持高效率。该电源符合能源之星、美国能源部、欧盟生态设计指令、欧盟行为准则的能效法规，且满足其他一些准则。因此，可以省略任何辅助低功率电源。



2. 特性和优势

2.1 显著特性

- 采用单个小型 SO16 封装的全功能 LLC 和 PFC 控制器
- 集成了高压启动源
- 集成式驱动器和高压电平转换器 (LS)
- 高边驱动器直接由低边驱动器输出供电（专利号：82059363US01）
- 精确的升压稳压
- 集成 X 电容放电，无需额外外部组件
- Power Good 信号功能
- 可轻松配置多个参数，例如：
 - 在所有工作模式下，工作频率将在听域之外
 - 突发模式下的软启动和软停止，以降低音频噪声
 - 工作模式间准确的转换（高功率模式 / 低功率模式 / 突发模式）

2.2 环保特性

- 谷底 / 零电压开关可以最大限度减小开关损耗
- 从低负载到高负载下，都提供极高的效率
- 符合最新节能标准和指令（能源之星、EuP）
- 出色的空载输入功率（对于 TEA2016AAT/TEA1995T 组合，功率低于 75 mW）

2.3 保护特性

- 电平和计时器可独立配置
- 可以将所有保护独立设置为锁存、安全重启或在多次尝试重启后锁存（专利号：82096505US01）
- 电源欠压保护 (UVP)
- 过功率保护 (OPP)
- 内部和外部过温保护 (OTP)
- 电容模式调节 (CMR)
- 精确过压保护 (OVP)
- 过流保护 (OCP)
- 浪涌电流保护 (ICP)
- Brownin/brownout 保护
- 禁用输入

3. 应用

- 台式电脑和一体机
- 液晶电视
- 笔记本电脑适配器
- 打印机

4. 订购信息

表 1. 订购信息

型号	封装		
	名称	说明	版本
TEA2016AAT/1	SO16	塑料小型封装； 16 引脚； 体宽 3.9 mm	SOT109-1

5. 标示

表 2. 标记代码

型号	标记代码
TEA2016AAT/1	TEA2016AAT

6. 功能框图

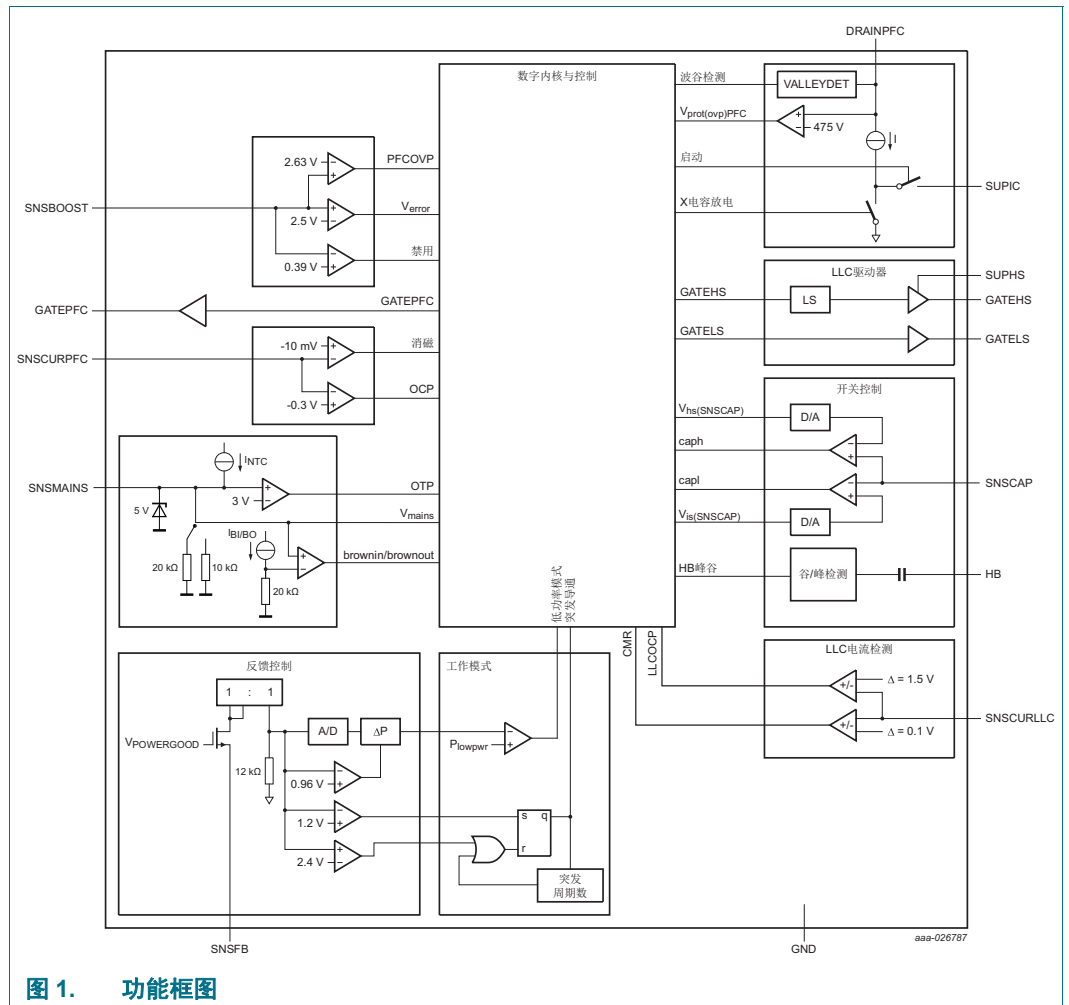


图 1. 功能框图

7. 引脚配置信息

7.1 引脚配置

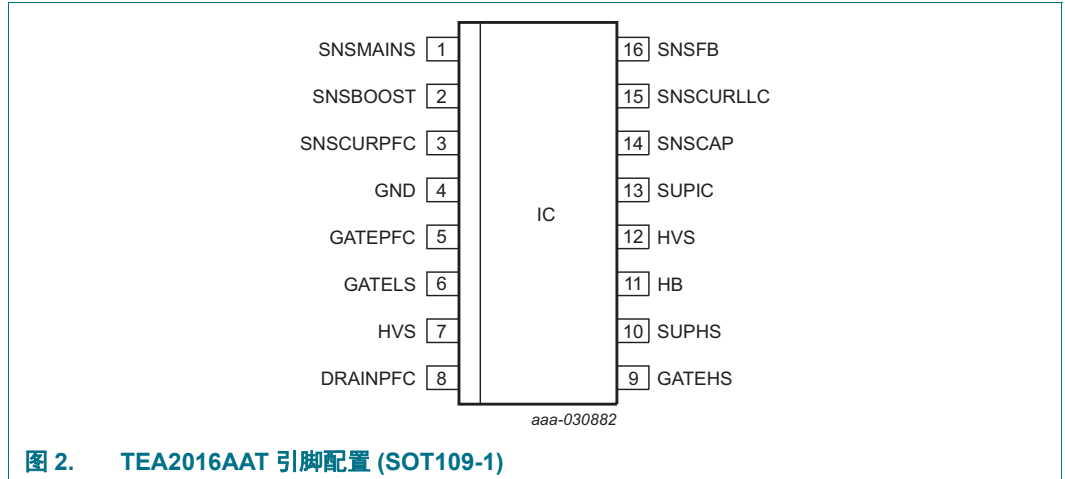


图 2. TEA2016AAT 引脚配置 (SOT109-1)

7.2 引脚说明

表 3. 引脚说明

符号	引脚	说明
SNSMAINS	1	市电电压和外部温度检测输入
SNSBOOST	2	升压电压的检测输入；外接电阻分压升压电压
SNSCURPFC	3	PFC 电流检测输入
GND	4	接地
GATEPFC	5	PFC MOSFET 栅极驱动器输出
GATELS	6	LLC 低边 MOSFET 栅极驱动器输出和自举电容器电源
HVS	7	高压隔离间隔。不连接。
DRAINPFC	8	内部 HV 启动源也用于 X 电容器放电、波谷检测和 PFC OVP 检测；连接至 (PFC) 漏极电压
GATEHS	9	LLC 高边 MOSFET 栅极驱动器
SUPHS	10	高边驱动器电源输入；外接到自举电容 (C _{SUPHS})
HB	11	高边驱动器的基准；半桥斜率检测输入；外接 LLC MOSFET 之间的半桥节点 HB
HVS	12	高压隔离间隔。不连接。
SUPIC	13	供电输入和内部高压启动的输出；通过二极管外接 LLC 的辅助绕组，或者连接到外部直流电源
SNSCAP	14	LLC 电容电压检测输入；外接 LLC 电容的分压器
SNSCURLLC	15	LLC 电流检测输入；外接谐振电流检测电阻
SNSFB	16	输出电压调节反馈检测输入；外接光耦合器。Power Good 功能输出。

8. 功能说明

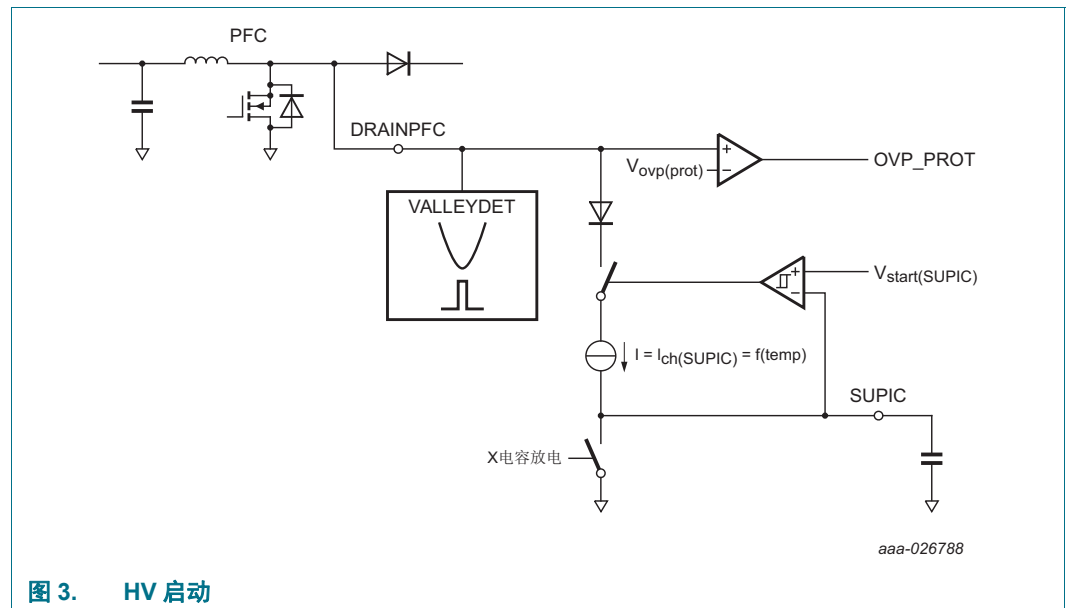
8.1 电源电压

TEA2016AAT 包括:

- 用于启动的高压电源引脚 (DRAINPFC)
- 外接外部辅助绕组的通用电源 (SUPIC 引脚)
- 高边驱动器的浮动电源 (SUPHS 引脚)

8.1.1 启动和电源电压

最初, SUPIC 引脚上的电容器是通过 DRAINPFC 引脚充电的。DRAINPFC 引脚连接到 PFC MOSFET 的漏极电压。在内部, DRAINPFC 和 SUPIC 引脚之间有一个高压电流源 (参见图 3)。



内部电流源的最大电流限制为 $I_{ch}(SUPIC)$ 。为了限制 IC 功耗, 当电流源超过其最高温度 ($T_{SUPICcharger}$) 时, 充电电流会减小。

当 SUPIC 达到 $V_{start}(SUPIC)$ 电平时, 它会连续调节到这个启动电压, 迟滞为 ($V_{start}(hys)SUPIC$)。当 SUPIC 电压降低到 $V_{start}(SUPIC) - V_{start}(hys)SUPIC$ 之下时, 它会激活 DRAINPFC 和 SUPIC 引脚之间的电流源。超过 $V_{start}(SUPIC)$ 时, 它将禁用开关。

达到启动电平后, 它将读取内部 MTP (多次可编程存储器) 并定义设置。

当 SUPIC 电压降低至停止电平之下时, TEA2016AAT 进入无电源状态。它通过 DRAINPFC 引脚为 SUPIC 引脚充电, 达到启动电平。在无电源状态和 MTP 读取期间, LLC 和 PFC 被禁用。定义设置后, PFC 将启动。当 SNSBOOST 达到最低电平 $V_{start}(SNSBOOST)$ 时, LLC 也会启动开关 (参见图 4 和图 5)。

启动完成后, 当 LLC 控制器正在工作时, LLC 变压器辅助绕组为 SUPIC 引脚供电。在这种工作状态下, HV 启动源禁用。

当系统进入保护模式时，无法通过辅助绕组为系统供电。此时，通过 DRAINPFC 引脚将 SUPIC 引脚调节至 $V_{start}(SUPIC)$ 。

在突发模式的非开关阶段，当 SUPIC 降至 $V_{low}(SUPIC)$ 以下时，SUPIC 会被调节至此电平。它会调节电压，迟滞为 $V_{low}(hys)SUPIC$ 。采用这种方式，由于在突发模式下存在很长的非开关阶段，系统可以避免 SUPIC 欠压保护被触发。

DRAINPFC 引脚还用于波谷检测、X 电容放电和提供第二道 PFC OVP 保护。

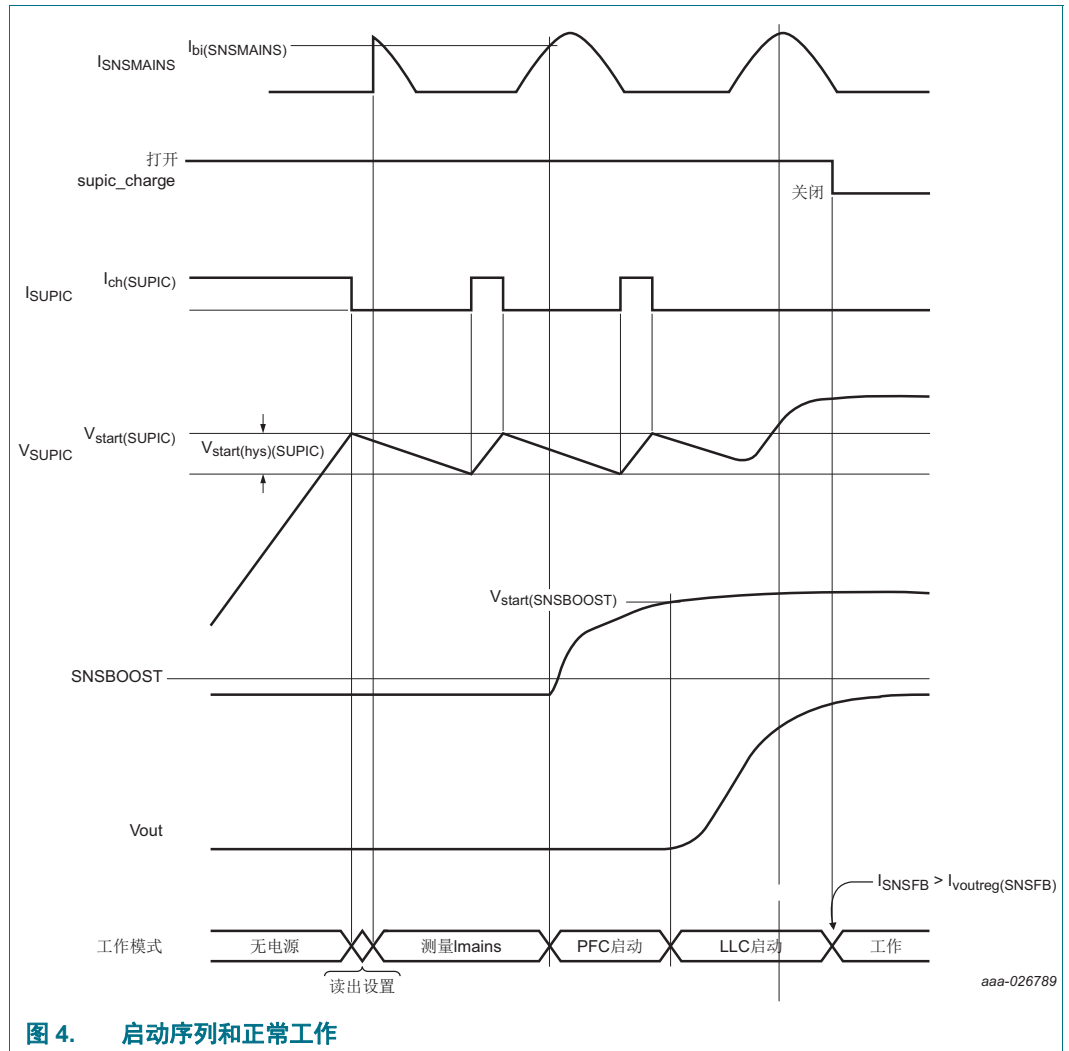


图 4. 启动序列和正常工作

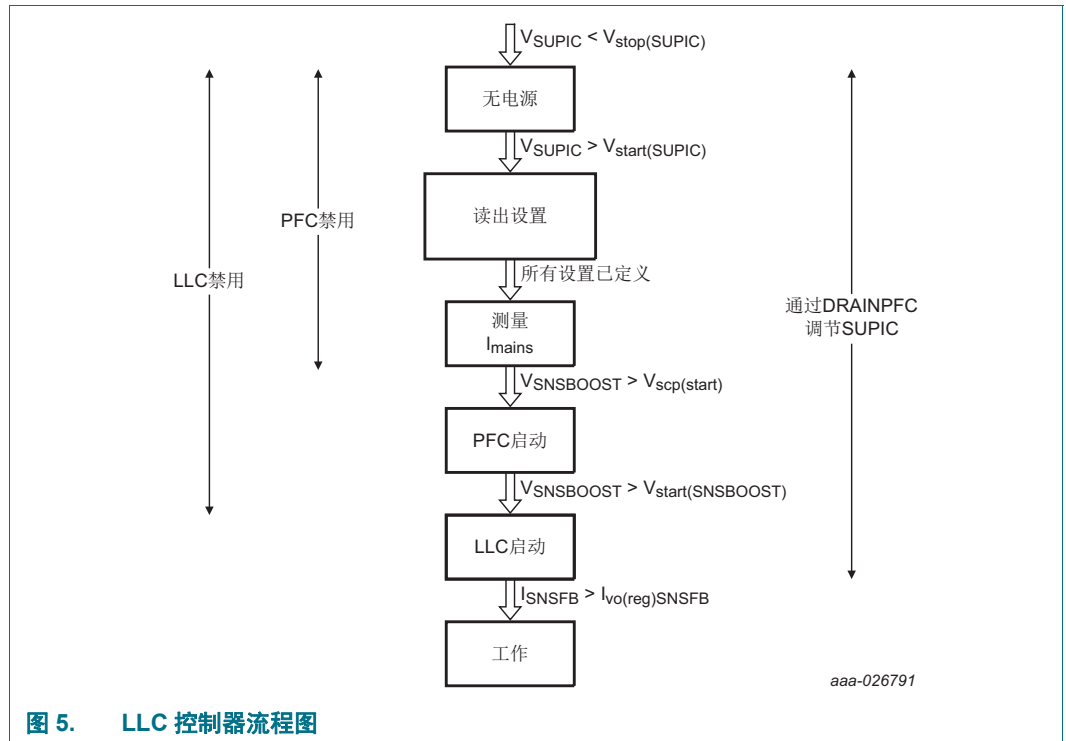
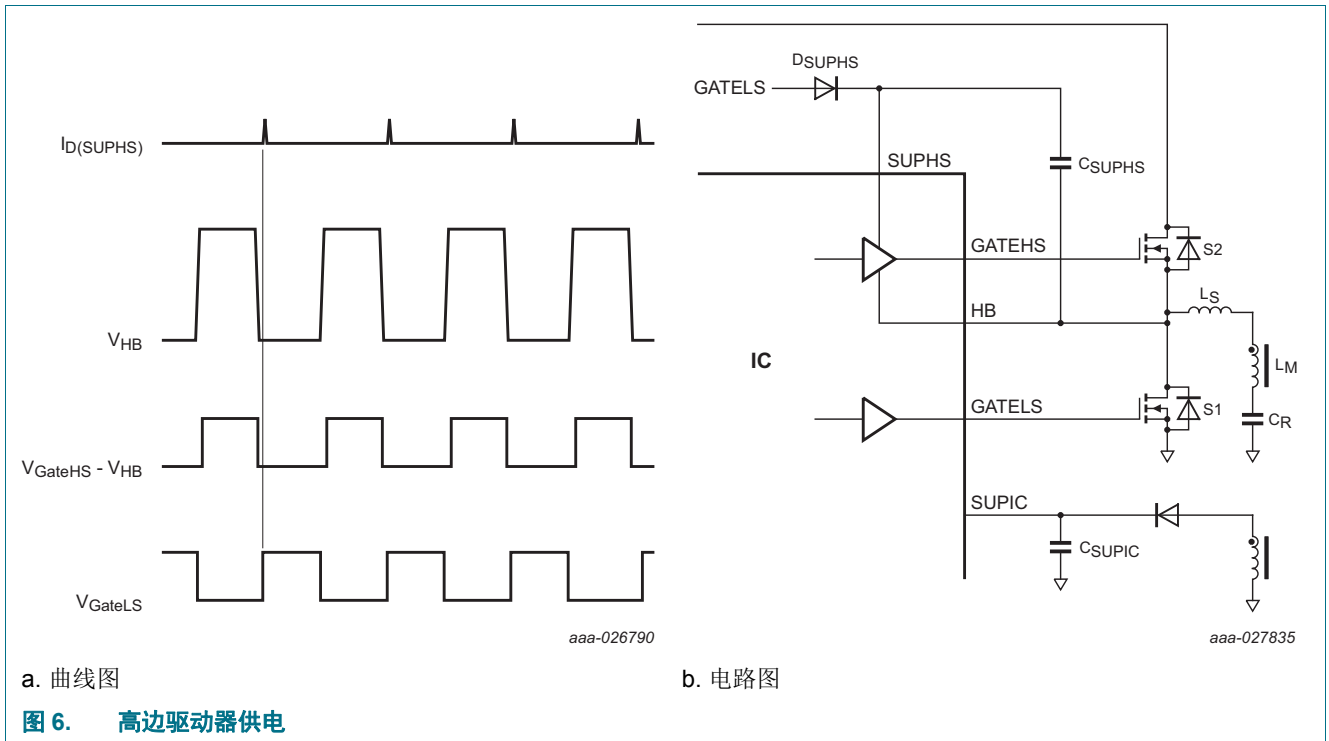


图 5. LLC 控制器流程图

8.1.2 高边驱动器浮动电源 (SUPHS 引脚)

因为 SUPIC 引脚上的电压范围超过最大外部 MOSFET 的栅极 - 源极电压的范围，外部自举电容器 C_{SUPHS} 不能直接从 SUPIC 供电。

为了在无需使用额外外部组件的情况下为高边驱动器外部供电，GateLS 输出采用特殊设计，能驱动低边 MOSFET 并为高边 MOSFET 供电（专利号：82059363US01；参见图 6）。



外部自举缓冲电容器 C_{SUPHS} 为高边驱动器供电。自举电容器通过一个外部二极管 (D_{SUPHS}) 连接到低边驱动器电源、GATELS 引脚和半桥节点 (HB)。当 GATELS 为高电平有效且 HB 节点被拉低时， C_{SUPHS} 充电。

通过精心选择适当的二极管，可以最大程度地减少 GATELS 与 SUPHS 引脚之间的压降，尤其是在使用大 MOSFET 和高开关频率时。较大的二极管压降导致了高边 MOSFET 的栅极驱动电压降低。

8.2 LLC 系统调节

典型的谐振控制器通过调整工作频率来调节输出功率。

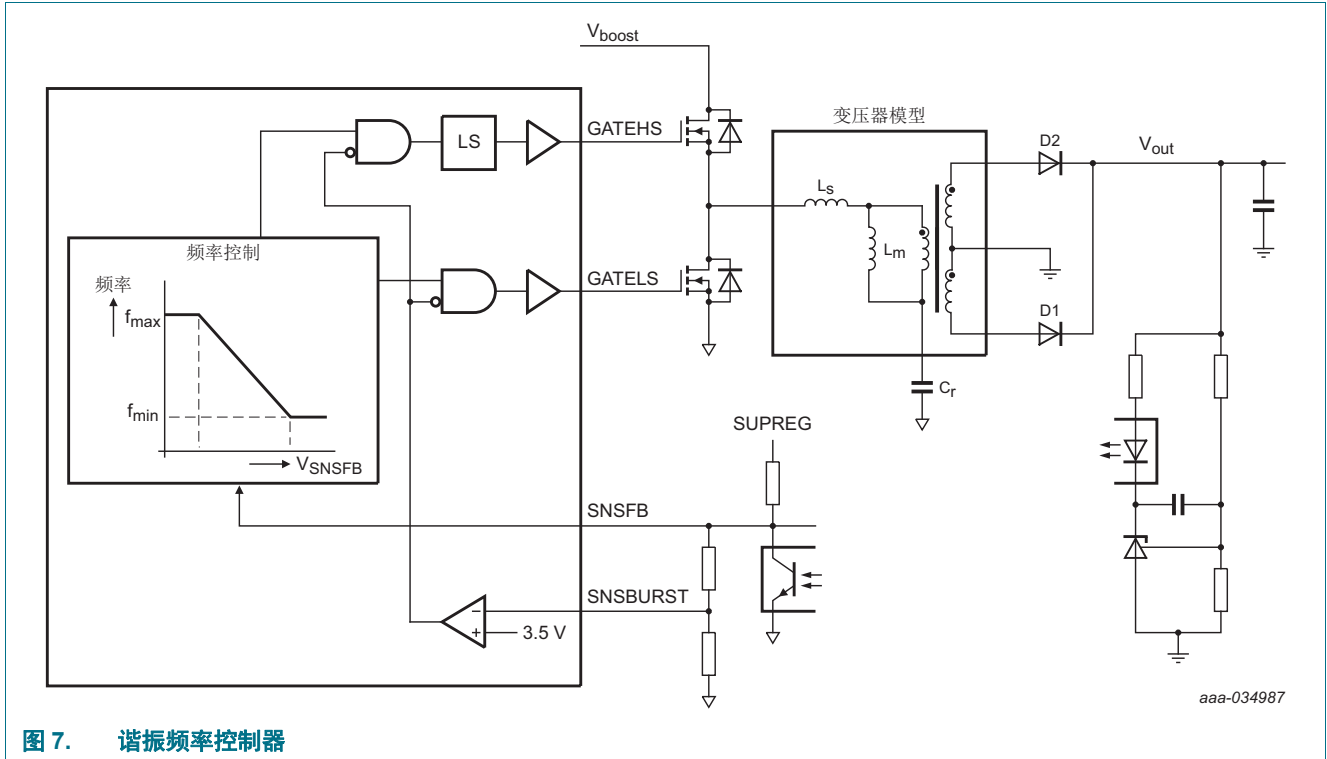


图 7. 谐振频率控制器

如果输出端所需功率降低，LLC 转换器的输出电压超过目标调节电平（12 V 或 19.5 V 典型值），则光电流增加，SNSFB 的电压降低（参见图 7）。然后，谐振控制器根据内部频率控制曲线来增加频率。由于频率较高，输送到输出端的功率减少，输出电压降低。如果输出电压过低，控制器会降低系统频率，从而提高输出功率。通过这种方式，系统可以调节输出功率至所需的值。

由于频率的微小变化会带来输出功率的大幅变化，因此频率控制具有很高的控制回路增益。为了提高低负载下的效率，一旦输出功率低于最低限值，大多数转换器会立即切换到突发模式。突发模式限值大部分源自 SNSFB 引脚上的电压。对于频率受控制的谐振转换器，这意味着会在特定频率下进入突发模式，而不是在特定负载下进入。谐振元件的微小变化会导致激活突发模式的功率限值发生大幅变化。

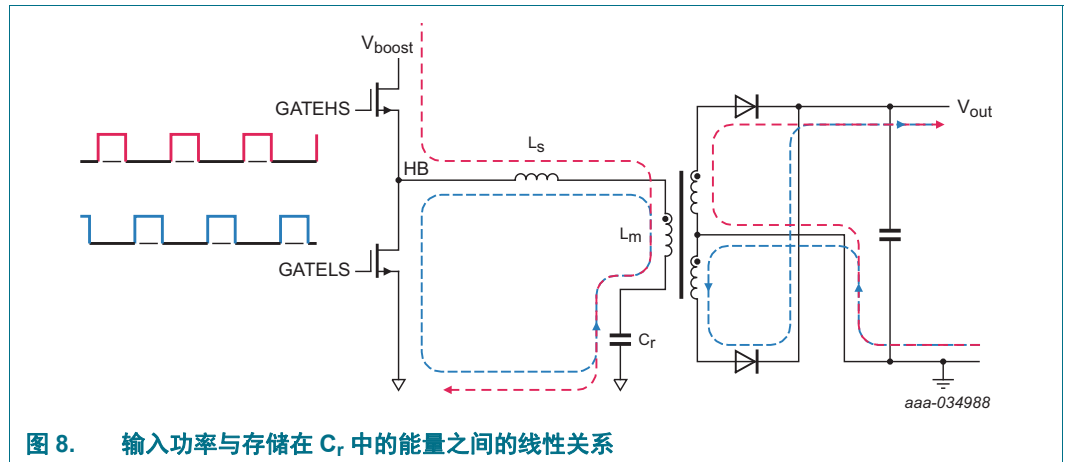
在 TEA2016AAT 中，控制机制有所不同。优点是控制回路的恒定增益，以及由输出功率决定的突发模式。TEA2016AAT 不是通过调节频率来调节输出功率，而是通过调节初级电容器两端的电压来实现。

谐振转换器的输入功率（与输出功率相关）可使用公式 1 计算：

$$P_{in} = V_{boost} \times I_{boost} = V_{boost} \times \Delta V_{Cr} \times C_r \times f_{sw} \tag{1}$$

公式 1 显示输入功率与电容器电压差 ΔV_{Cr} 呈线性关系。

图 8 显示输入功率与存储在谐振电容器中的能量之间的线性关系的其他解释。



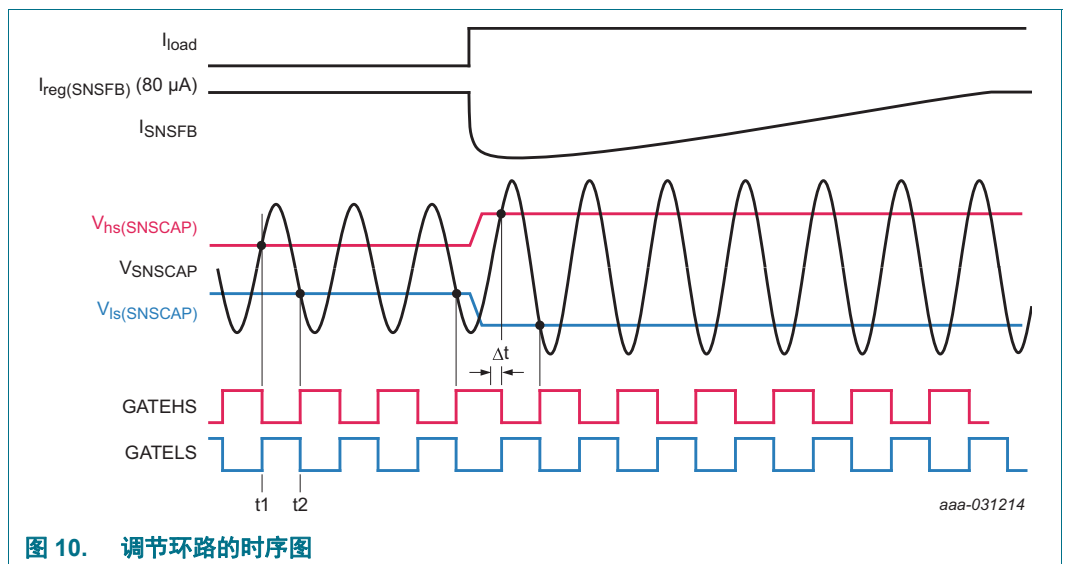
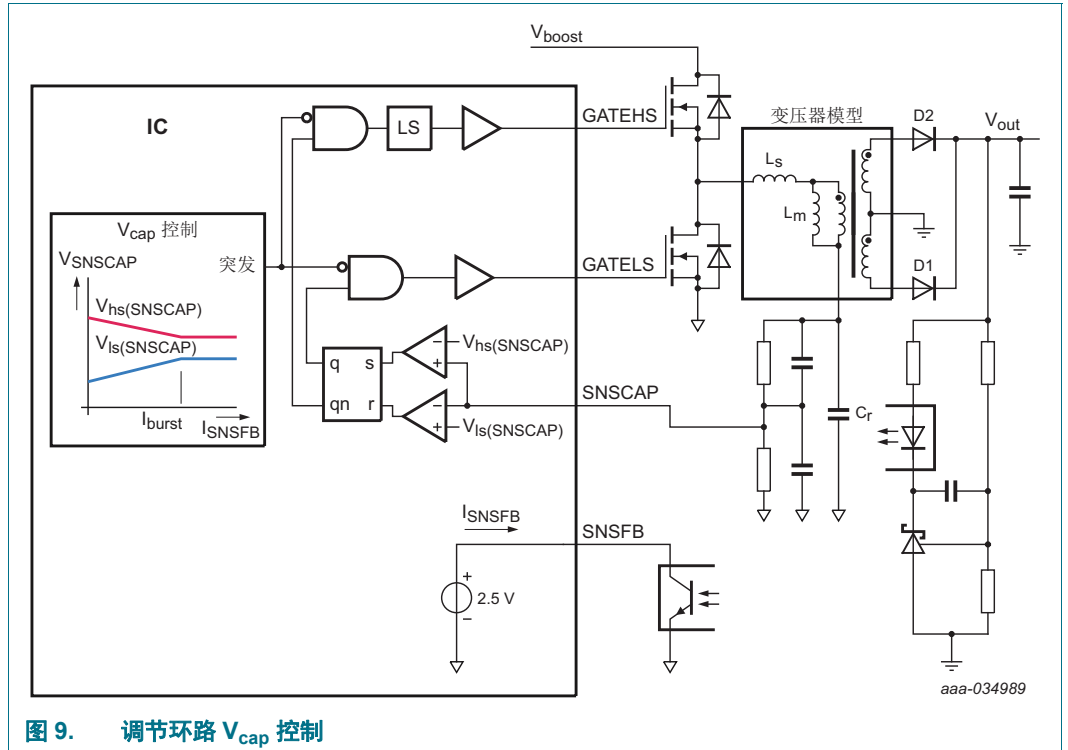
当高边开关打开时，一次电流通过变压器和谐振电容器 C_r 流动，如红线所示。输入提供的一半能量被传输到输出端。另一半能量为谐振电容器 C_r 充电。谐振电容器两端的电压提高。

当高边开关关闭且低边开关打开时，存储在谐振电容器 C_r 中的能量被传输到输出端，其电压降低。通过这种方式，可以看到谐振电容器电压和输出功率的增长之间的线性关系。

虽然 TEA2016AAT 使用初级电容器电压作为调节参数，但所有应用值，例如谐振阻抗、谐振电容器和初级 MOSFET，与受频率控制的 LLC 转换器相比保持不变。次级 TL431 电路，与连接到初级 SNSFB 引脚的光耦合器结合，持续地调节输出电压。

8.2.1 输出功率调节环路

图9显示了TEA2016AAT使用的 V_{cap} 控制的输出功率调节环路。图10显示了对应的时序图。



当分压的谐振电容器电压(V_{SNSCAP})超过电容器电压高电平($V_{hs}(SNSCAP)$)时,高边MOSFET会被关闭(参见图10(t1))。短延迟之后,低边MOSFET被打开。由于谐振电流,谐振电容器电压最初进一步提高,但随后逐渐降低。

当分压的谐振电容器电压 (V_{SNSCAP}) 降低至电容器电压低电平 ($V_{\text{ls}(\text{SNSCAP})}$) 以下时, 低边 MOSFET 会被关闭 (参见图 10 (t2))。短延迟之后, 高边 MOSFET 被打开。图 10 表明, 开关频率是这种开关行为的结果。在受频率控制的系统中, 频率是一个控制参数, 输出功率是结果。TEA2016AAT 调节功率, 频率是结果。

高低电容器电压电平之间的差异是提供的输出功率的指标。初级光电流的值取决于次级 TL431 电路, 它决定了高低电容器电压之间的差异。

图 10 还显示了瞬变时的行为。如果输出负载增加, 从 SNSFB 引脚拉出的电流将会减小。结果是 TEA2016AAT 增大了高电平电容器电压, 降低了低电平电容器电压。根据第 8.2 节中的公式 1, 输出功率增加, 输出电压逐渐增加到调节电平。

为了最大程度地减小系统的空载输入功率, 进入光耦合器的一次电流持续调节达到 85 μA (参见第 8.4 节)。

8.2.2 输出电压启动

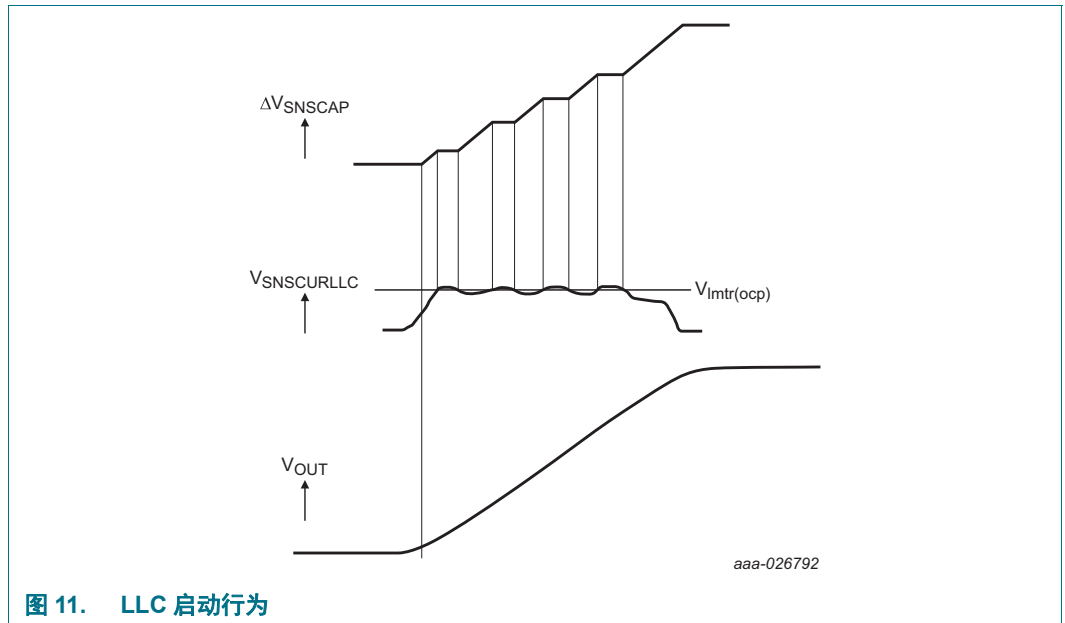
系统通过调节初级 V_{Cr} 来控制输出功率 (参见第 8.2 节)。当系统正在调节中, 输出电压趋于稳定时, ΔV_{Cr} 的一小变化对应着输出电流的小变化 (参见公式 2)。

$$P_{\text{out}} = V_{\text{out}} \times I_{\text{out}} \sim V_{\text{boost}} \times I_{\text{boost}} = \Delta V_{\text{Cr}} \times C_r \times f_{\text{sw}} \times V_{\text{boost}} \quad (2)$$

$$I_{\text{out}} \approx C_r \times f_{\text{sw}} \times V_{\text{boost}} \times \frac{\Delta V_{\text{Cr}}}{V_{\text{out}}}$$

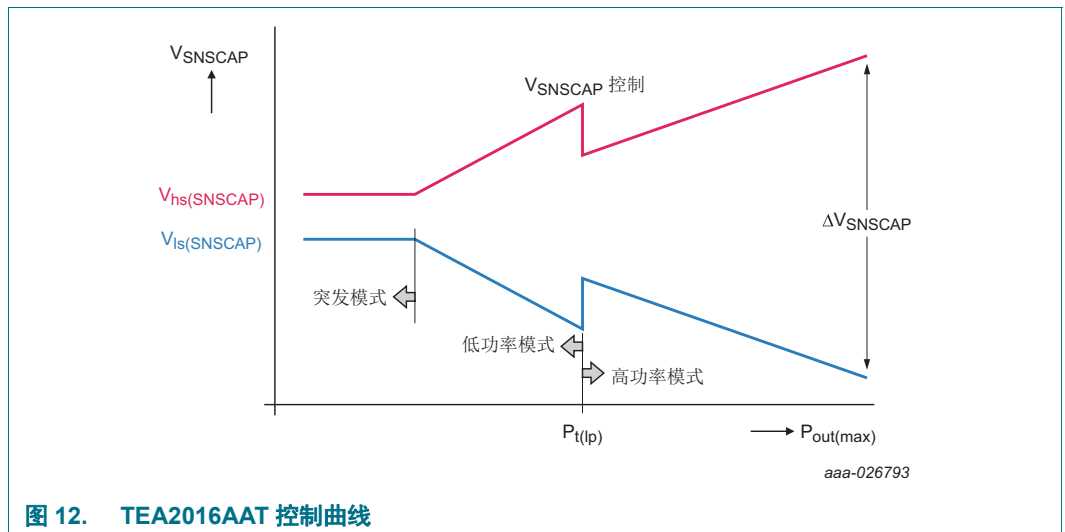
但是, 在启动之前, 当输出电压大约为零时, 电容器电压 (ΔV_{Cr}) 的少量增加会引起输出电流的大幅增加。在启动时, 分压的 ΔV_{Cr} 电压 (ΔV_{SNSCAP}) 从最小值缓慢增加到调节电平。因此, 系统在较高的频率下启动。

当系统增加 ΔV_{SNSCAP} 时, 它会通过 SNSCURLLC 引脚连续监视一次电流。当此引脚上的电压超过 $V_{\text{Imtr}(\text{ocp})}$ 电平时, 将暂停增大 ΔV_{SNSCAP} , 直到 SNSCURLLC 引脚上的电压再次降至 $V_{\text{Imtr}(\text{ocp})}$ 电平以下 (参见图 11)。在启动期间, 输出电流得到调节, 其电压显示出平滑的斜率。还能避免在启动过程中触发 OCP (过电流保护)。这样, LLC 转换器在启动期间的行为与受限电流源类似。



8.3 操作模式

图 12 显示了输出功率和电容器高低电平的电压差异之间的控制曲线。



当输出功率 (P_{out}) 为最大值时，低电容器电压电平 ($V_{ls}(SNSCAP)$) 为最小值，高电容器电压 ($V_{hs}(SNSCAP)$) 处于最高电平。根据第 8.2 节中的公式 1，最大值 ΔV_{SNSCAP} ($V_{hs}(SNSCAP) - V_{ls}(SNSCAP)$)，即分压 ΔV_{Cr} 电压，对应于最大输出功率。

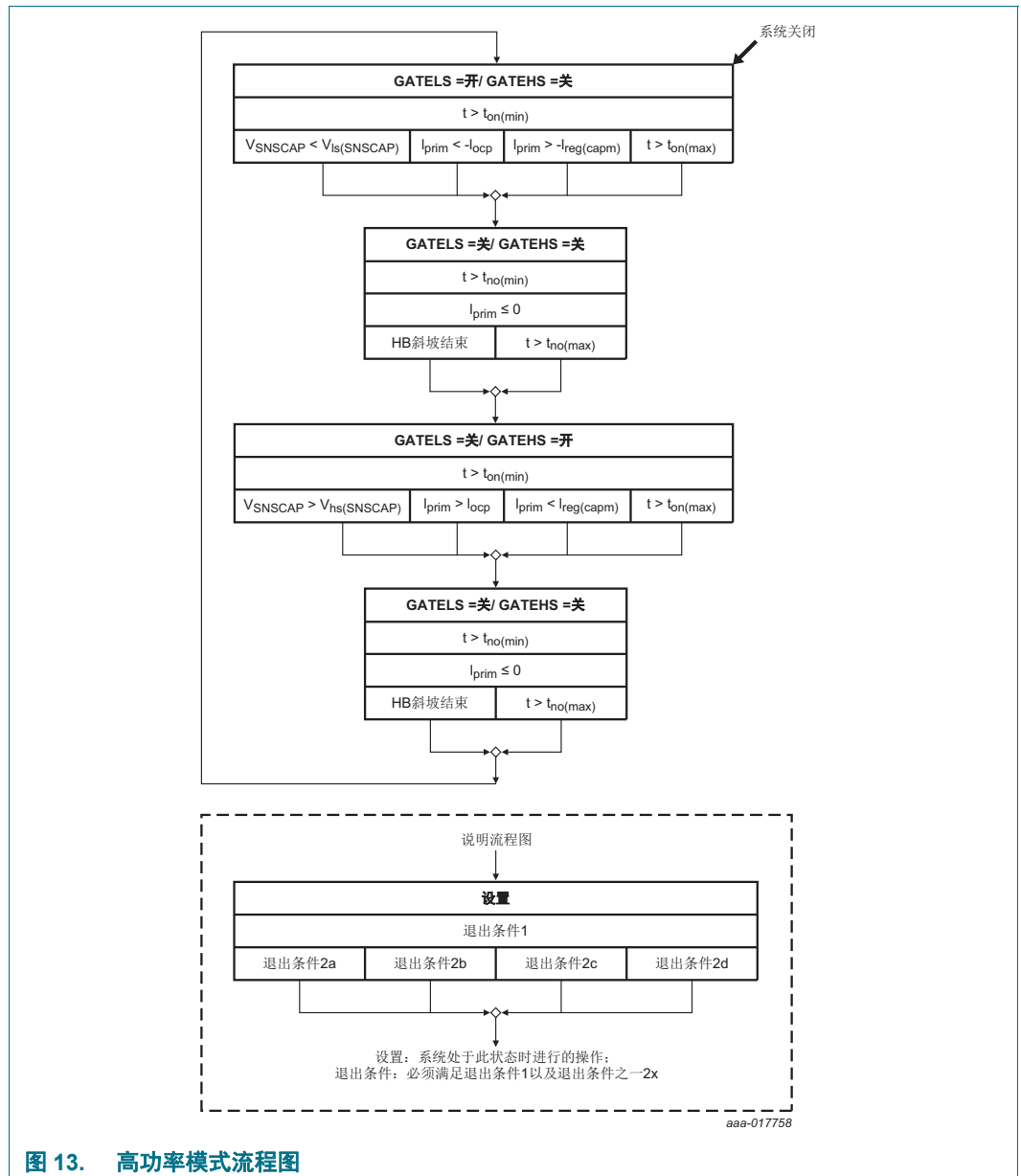
当输出负载减小时， ΔV_{SNSCAP} 电压降低。因此，输出功率减小，对输出电压进行调节。这种模式称为高功率模式。图 10 显示了系统工作于高功率模式下时的时序图。

当输出功率降低到转换电平 ($P_{t(lp)}$) 之下时，系统进入低功率模式。 $P_{t(lp)}$ 电平可以通过 MTP 初始化。

为了补偿低功率模式下的非开关阶段（也称为保持周期），进入低功率模式时会首先增加 ΔV_{SNSCAP} （参见第 8.3.2 节）。在低功率模式下，通过调整 ΔV_{SNSCAP} 来调节输出功率，直至它达到最小值。然后系统进入突发模式（参见第 8.3.3 节）。

8.3.1 高功率模式

在高功率模式下，系统的工作方式如第 8.2.1 节所述。图 13 显示了高功率模式的流程图。



开始时，GATELS 开启，GATEHS 关闭。外部自举缓冲电容器 (C_{SUPHS}) 通过 GATELS 引脚和外部二极管充电。系统保持这种状态至少达到 GATELS 的最小导通时间。进入下一个状态之前，必须满足以下条件之一：

- V_{SNSCAP} 电压降低到最小 V_{SNSCAP} 电压 ($V_{IS(SNSCAP)}$) 之下
- 测量的电流超过 OCP 电平（参见[第 8.6.15 节](#)）
- 系统接近于电容模式（参见[第 8.6.14 节](#)）
- 超过了最大导通时间 ($t_{on(max)}$)，它是一种保护，可以最大程度地增加高边或低边 MOSFET 保持打开的时间。

在下一个状态下，为了避免 HB 峰值电压的错误检测，系统会等待，直至超过最小非交叠时间 ($t_{no(min)}$)。一旦超过该时间，系统开始检测 HB 节点的末端电压 (= 峰值电压)。当它检测到 HB 节点的峰值且测量的谐振电流为负（或零）时，它将进入下一个状态。

如果系统没有在 HB 节点检测到峰值，则在谐振电流为负（或零）的条件下，当超过最大非交叠时间 ($t_{no(max)}$) 时，它也会进入下一个状态。

最后，第三种和第四种状态（参见[图 13](#)）描述了 GATEHS 和 GATEHS 向 GATELS 转换的标准，与前两种状态相反。

8.3.2 低功率模式

在低负载下，谐振转换器的工作频率提高。因此，磁化和开关损耗也会增加。出于这个原因，在低负载下，谐振转换器的效率降低。新引入的低功率模式确保在低负载下也能达到高效率。

当输出功率降低到 $P_{t(lp)}$ 限值之下时，系统进入低功率模式（参见[图 12](#)和[图 14](#)）。它会持续开关 3 个半周期（低边、高边、低边），带 MTP 可选占空比。为了确保恒定的输出功率电平，它在每个半周期都会同时增加电能 ($V_{hs(SNSCAP)} - V_{IS(SNSCAP)}$)。

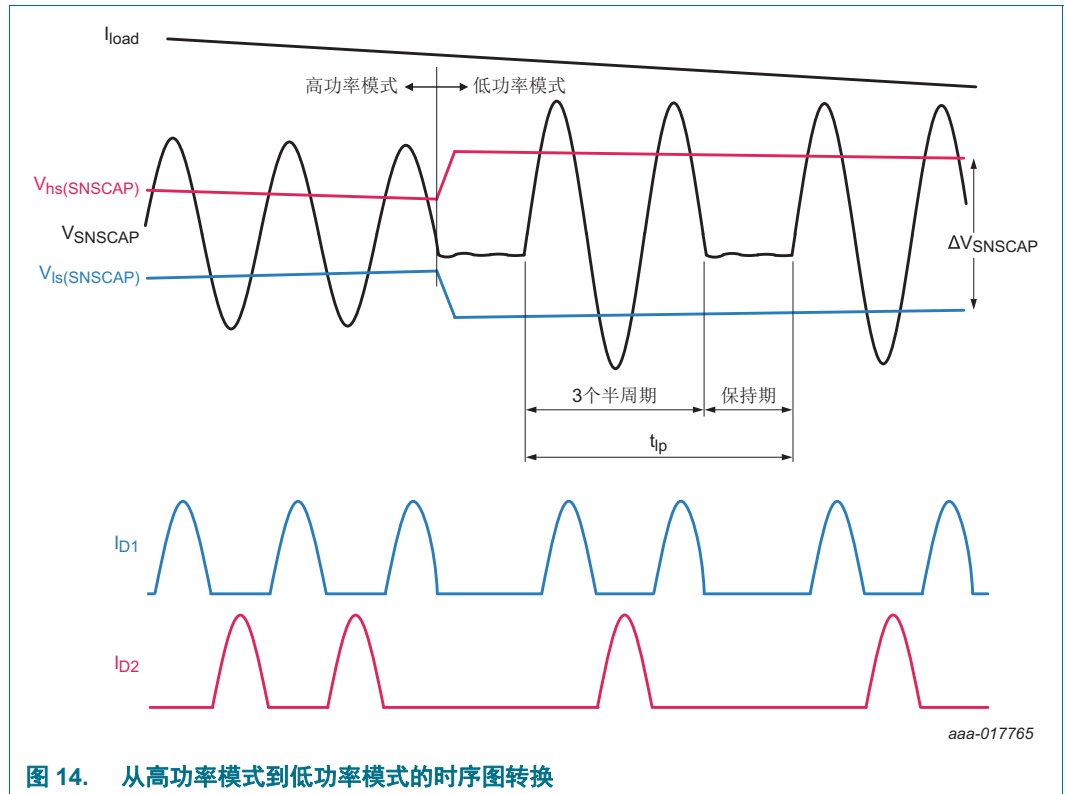
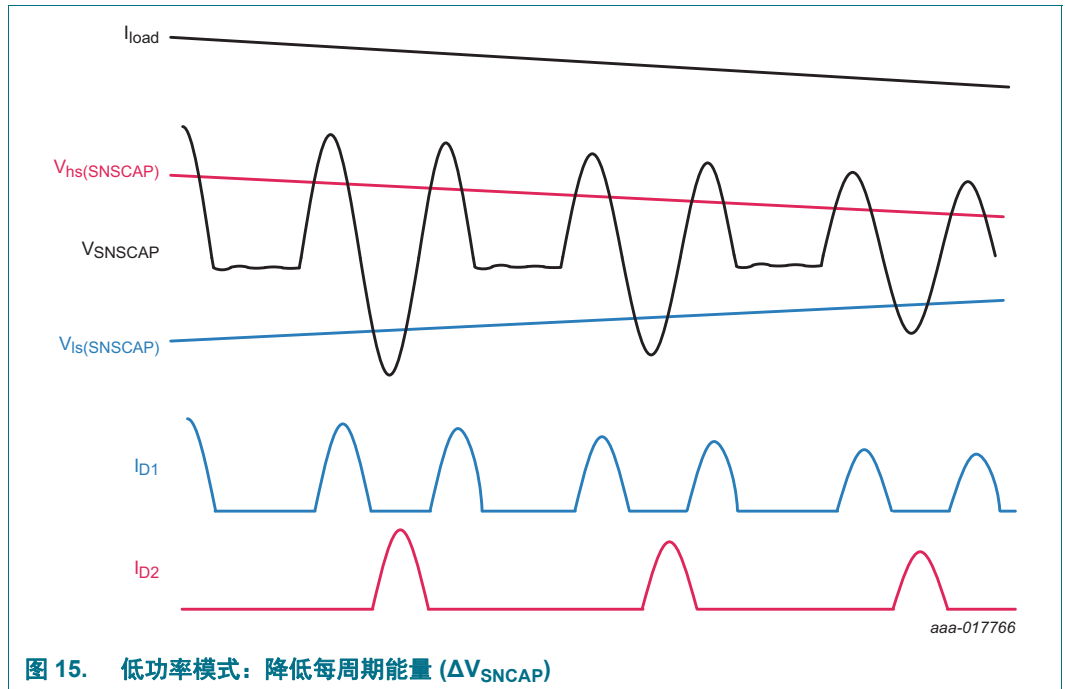


图 14. 从高功率模式到低功率模式的时序图转换

由于系统持续跟踪初级电容器电压，因而它确切知道应该何时进入“保持”期。它还可在谐振转换器刚好达到正确的电压和电流电平时重新继续。这样就可以引入“保持”期，减少磁化和开关损耗，而且没有其他任何损耗。电流 I_{D1} 和 I_{D2} （参见图 14）是通过二极管 D1 和 D2 的次级电流（参见图 25）。

当处于低功率模式下，输出功率进一步减小时，每周期的能量数量 ($= \Delta V_{sNSCAP}$) 将会减少，占空比保持不变（参见图 15）。

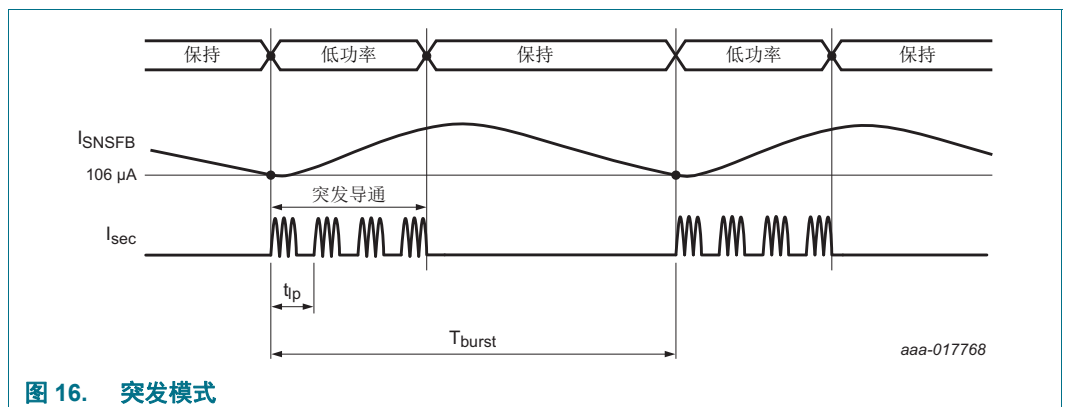
在低功率模式下，当系统达到每周期的可编程最小能量 ($= \Delta V_{sNSCAP}$) 时，将进入突发模式。



8.3.3 突发模式

在突发模式中，系统交替在低功率模式和延长保持状态下工作（参见图 16）。由于保持期延长，磁化和开关损耗进一步减小。因此，系统的效率随之提高。

图 16 显示了听域之外的所有工作频率。最小低功率频率可以通过参数设置。在低功耗周期内，系统在转换器的谐振频率下开关，通常在 50 kHz 和 200 kHz 之间。



8.3.3.1 频率调节

突发频率 ($1/t_{burst}$) 持续调节为预定义值, 该值可通过参数设置。由于可以通过参数精确设置低功率和突发频率, 因此可以选择它们, 使其位于听域之外。 I_{sec} 是通过二极管 D1 或 D2 的次级电流 (参见图 25)。

当初级光电流 (I_{SNSFB}) 降低至 $I_{start(burst)}$ ($100 \mu A$) 之下时, 将开始新的突发周期。突发周期的结束取决于计算的低功率周期数。突发中的低功率周期数会持续调节, 使得突发周期至少达到设置定义的周期 (参见图 17)。

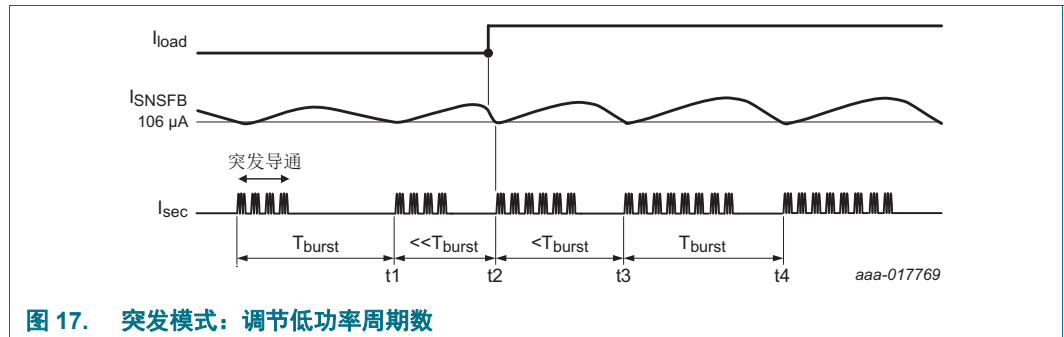


图 17. 突发模式：调节低功率周期数

系统持续地测量突发周期, 从上一个突发周期开始到新的突发周期。在时间 t_1 , 测量的突发周期 (t_{burst}) 等于要求的 T_{burst} 。因此, 下一个低功率周期数等于前一个低功率周期数。在恒定的输出功率下, 系统预期当下一个突发周期的低功率周期数与前一个突发周期相同时, 突发周期 (T_{burst}) 保持不变。

在正向瞬变 (t_2) 处, 即时开始一个新的低功率周期, 以最大程度减少输出电压的降低。在时间 t_2 , 测量的时间周期低于目标突发周期。系统增加了突发周期数。在时间 t_3 , 它再次测量突发周期。在本例中, 突发周期仍然少于目标突发周期。因此, 系统反复增加低功率周期数, 直至测量的突发周期等于目标突发周期, 这在时间 t_4 发生。

8.3.3.2 瞬变

当系统以突发模式运行时, 它将在新突发周期开始时定义新的周期数。如果在新突发周期开始后立即减小输出负载, 则输出电压将出现过冲 (参见图 18)。

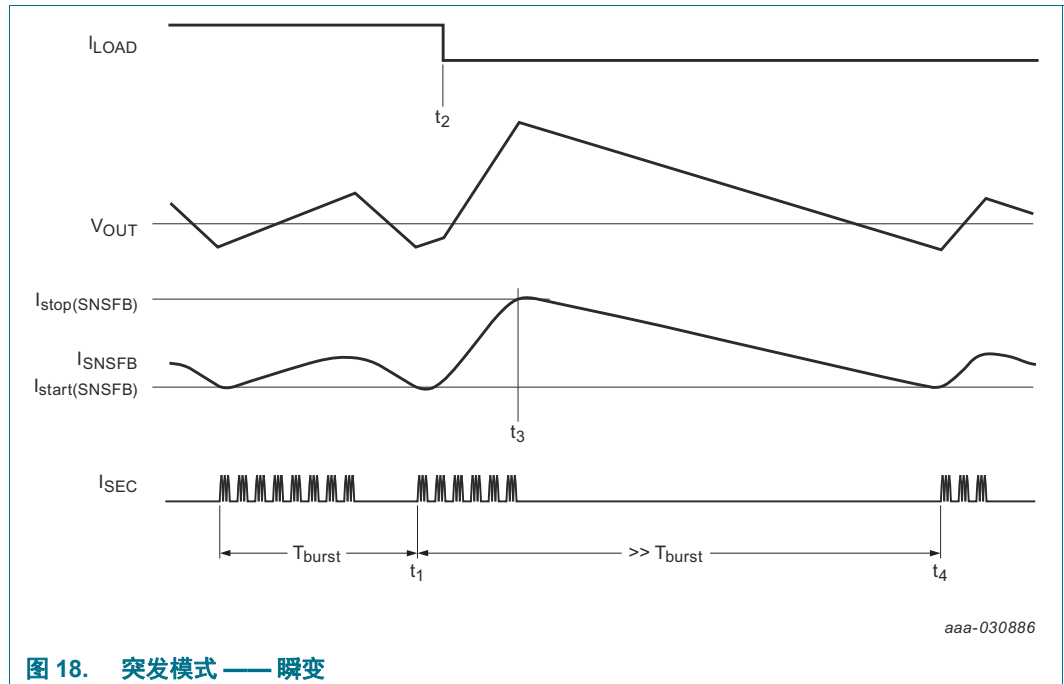


图 18. 突发模式 —— 瞬变

在 t_1 ，系统从新的突发周期启动。在 t_2 后不久，输出负载减小。结果，输出电压出现过冲，光耦合器电流增加。为了限制过冲，当光耦合器电流超过 $I_{\text{stop(burst)}}$ 电平时，系统也会终止突发周期。

8.4 光偏置调节

在典型应用中，输出电压是使用 TL431 检测的，通过光耦合器连接到 TEA2016AAT 的 SNSFB 引脚（参见图 25）。由于 TL431 的特性，当输出功率位于最低点时，通过光耦合器的电流位于最高点。因此，它是达到需要的空载输入功率的最关键参数之一。为了在空载和低负载情况下达到最高效率，TEA2016AAT 持续将光电流调节到不受输出负载影响的低点。

受光耦合器集电极处寄生电容的影响，非常低的光电流会降低系统的瞬态响应。因此，TEA2016AAT 在 SNSFB 引脚上施加固定电压。它测量通过光耦合器的电流，该电流决定了需要的输出功率。通过额外的内部电路将光电流连续（缓慢）调节至 $I_{\text{reg(SNSFB)}}$ 电平（= 80 μA ），电流的偏移对应所需的输出功率。这个电流本身不受输出功率的影响。

在正向负载瞬变处，光电流首先降低（参见图 10； I_{SNSFB} ）。TEA2016AAT 即时增加 ΔV_{SNSCAP} ，后者再增加输出功率。

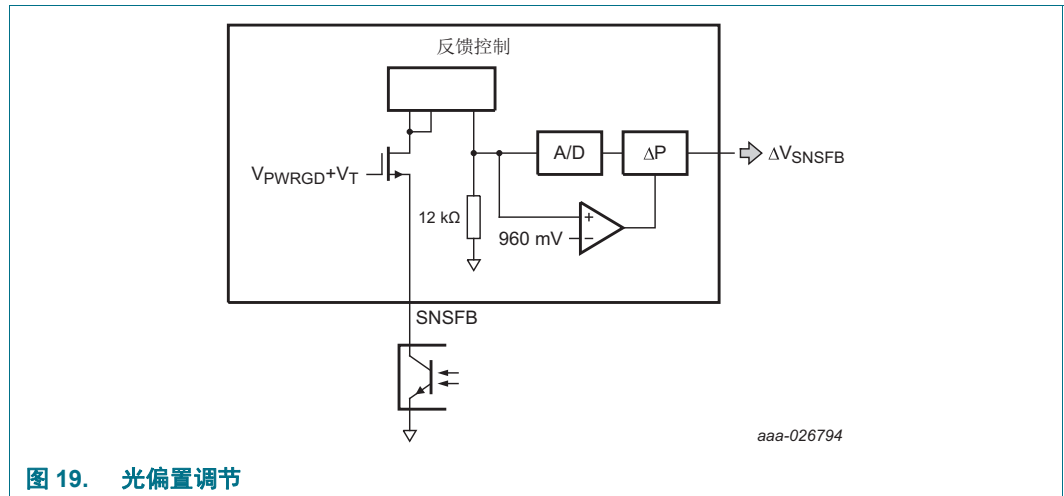


图 19 显示，当光电流降低时，12 kΩ 电阻器两侧的内部电压降低至目标电平 960 mV (= 80 μA x 12 kΩ) 之下。然后，TEA2016AAT 缓慢地增加功率点 (ΔP) 下的额外偏移。它会继续增加额外偏移，直至光电流到达 80 μA 的目标。当光电流由于瞬变而增加时，功率点的额外偏移会降低。因此，输出电压减小，这又会减小光电流。通过这种方式，可持续将光电流调节到 $I_{reg}(SNSFB)$ 电平（参见图 10）。

连接到 SNSFB 的内部电路的行为与传统电路的行为相同。SNSFB 引脚的固定电压和光耦电流的持续调节，不会影响控制的调节。但是，它的优点是降低空载输入功率，优化瞬态响应。

当系统在低功率模式，以最小的每周期能量和最小的占空比工作时，它无法再将光电流电平降低到 $I_{reg}(SNSFB)$ 目标 ($\gg 80 \mu A$)。如果输出功率进一步降低，光电流增加到 $I_{start}(burst)$ ($\gg 100 \mu A$) 电平之上，则会触发突发模式。当输出功率再次降低到该电平之下时，将会启动新的突发周期（参见图 16 和图 17）。

8.5 功率因数校正 (PFC) 调节

功率因数控制电路支持准谐振或波谷开关的非连续导通模式运行。当上一个脉冲结束后，新一次脉冲才能开始，此时 PFC MOSFET 上的电压达到最小值。为了检测变压器的消磁和外部 PFC MOSFET 开关两端的最小电压，控制 IC 会持续监视 PFC MOSFET 两端的电压和通过 PFC 电路的电流。

8.5.1 软启动 (SNSCUR 引脚)

为了防止在启动时产生变压器声频噪声，软启动功能会缓慢增加导通时间（参见图 20）。

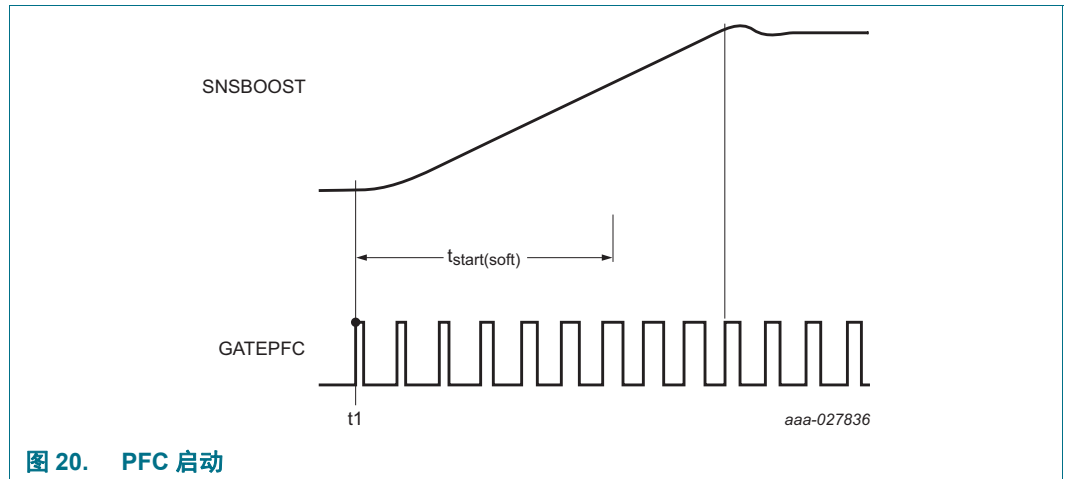


图 20. PFC 启动

在 t_1 ，启动 PFC 的所有条件均得到满足。当 PFC 开始开关时，最大导通时间从零开始逐周期增加，直到 t_{on} 调节限制 PFC 外部 MOSFET 的导通时间。

8.5.2 t_{on} 控制

功率因数校正电路采用 t_{on} 控制运行。典型应用的市电谐波消减完全满足 D 类要求。

以下电路确定外部 PFC MOSFET 的导通时间：

- 内部数字控制环路，包括环路补偿。
- 市电补偿，其使用通过 SNSMAINS 引脚的电流来表征市电输入电压。

8.5.3 PFC 误差放大器（SNSBOOST 引脚）

升压电压使用高阻值电阻分压器分压，并为 SNSBOOST 引脚供电。内部数字控制环路将 SNSBOOST 电压与精确调整后的参考电压 ($V_{reg}(SNSBOOST)$) 进行比较，从而通过调节导通时间来调节输出电压。

8.5.4 波谷开关和消磁

为了确保 TEA2016AAT 在非连续或准谐振模式下工作，PFC MOSFET 在变压器消磁后导通。为了减少开关损耗和电磁干扰 (EMI)，当 PFC MOSFET 漏极 - 源极电压处于最小值（波谷开关）时开始下一个脉冲。消磁和波谷检测通过 SNSCURPFC 和 DRAINPFC 引脚测量。

如果未在 DRAINPFC 引脚上检测到波谷信号，控制器会在检测到消磁后生成波谷信号 ($t_{to(vrec)}$ ；典型值为 $10\mu s$)。

8.5.5 频率限制

为了优化变压器并尽量减少开关损耗，开关频率限制为 $f_{sw(PFC)max}$ 。如果准谐振工作频率超过 $f_{sw(PFC)max}$ 限值，则系统进入非连续导通模式 (DCM)。当系统处于 DCM 模式时，PFC MOSFET 会以开关两端的最小电压导通（波谷开关）。

为了确保在所有情况下都能正确控制 PFC MOSFET，最小关断时间限制为 $t_{off(PFC)min}$ 。

8.5.6 市电电压补偿 (SNSMAINS 引脚)

功率因数校正控制器传递函数公式包含市电输入电压的平方计算。在典型应用中，结果会造成低市电输入电压低带宽。在高市电输入电压下，可能很难满足市电谐波消减 (MHR) 要求。

为了补偿市电输入电压的影响，TEA2016AAT 增加了一个校正电路。输入电压通过 SNSMAINS 引脚测量（参见第 8.6.4 节），信息则馈入内部市电补偿电路（参见图 1）。利用这种补偿，可在整个市电输入电压波动范围内保持恒定的调节环路带宽。结果会在负载阶跃上产生与市电电压无关的瞬态响应，同时仍然符合 D 类 MHR 要求。

8.5.7 有效 X 电容器放电

断开市电电压后，TEA2016AAT 提供有源 X 电容器放电功能。当市电输入电压（以及流向 SNSMAINS 引脚的测量电流）增加时，系统会假定存在市电电压。当市电电压在最短期间 $t_{d(xcap-dch)}$ 内未升高时，则会激活有源 X 电容器放电功能。

当激活有源 X 电容器放电功能时，X 电容器将通过 DRAINPFC 引脚放电。

当 DRAINPFC 引脚使 X 电容器放电时，可以重新连接市电。在此情况下，放电电流将再次被禁用。

8.6 保护

表 4 概括了可用的保护方式。

表 4. 保护概览

保护	说明	动作	PFC	LLC	保护寄存器
通用保护					
UVP SUPIC	欠压保护 SUPIC 引脚	通过 DRAINPFC 充电； 重启条件 $V_{SUPIC} > V_{start}(SUPIC)$	关	关	-
MTP 失败	内部 MTP 读取失败	继续读取直到数据有效； 仅在启动时检查过一次	关	关	Y
OTPint	内部过温保护	LLC 和 PFC 均已锁存或安全 重启	关	关	-
OTPext	外部过温保护	LLC 和 PFC 均已锁存或安全 重启	关	关	-
SCP SNSBOOST/ 快速禁用	短路保护 / 禁用 PFC & LLC	重启条件 $V_{SNSBOOST} > V_{scp}(start)$	关	关	Y
PFC 保护					
市电掉电	市电欠压保护	当市电电压超过 brownin 电压 时重启	关	开 / 关 [1]	-
OVP SNSBOOST	过压保护升压电压	重启条件 $V_{SNSBOOST} < V_{ovp}(SNSBOOST)$	关	开 / 关 [1]	-
OVP DRAINPFC	过压保护 DRAINPFC 电压	LLC 和 PFC 为锁存或安全重启 保护	关	关	Y
OCP	过流保护	PFC MOSFET 关闭；继续运行	-	-	Y
PFC 线圈短路	-	LLC 和 PFC 关闭，然后安全 重启	关	关	-
linrush	浪涌电流保护	PFC MOSFET 关闭； PFC 开 关延后	关	-	-
LLC 保护					
UVP SUPHS	欠压保护 SUPHS 引脚	GATEHS = 关闭	-	关	-
UVP SNSBOOST	欠压保护升压	重启条件 $V_{SNSBOOST} > V_{start}(SNSBOOST)$	-	关	-
OVP SUPIC	输出过压保护；通 过 SUPIC 引脚测量	LLC 和 PFC 均已锁存或安全 重启	关	关	Y
CMR	电容模式调节	系统确保运行模式为电感式	-	-	Y
OCP	过流保护	按周期关闭；连续几个周期 后，LLC 和 PFC 均已锁存或安 全重启	关	关	Y
STARTUP MAX	最大启动时间	LLC 和 PFC 均已锁存或安全 重启	关	关	Y
OPP	过功率保护	LLC 和 PFC 均已锁存或安全 重启	关	关	Y

[1] 可通过 MTP 上的参数选择。

当系统处于锁存或安全重启保护下，SUPIC 电压通过 DRAINPFC 引脚调节到启动电平。

8.6.1 SUPIC 欠压保护

当 SUPIC 引脚上的电压低于其欠压电平 $V_{\text{uvp(SUPIC)}}$ 时，PFC 和 LLC 转换器均停止开关。SUPIC 引脚上的电容通过 DRAINPFC 引脚充电。

当 SUPIC 供电电压超过启动电平时，系统重启。

8.6.2 MTP 失败

当 SUPIC 在启动时达到启动电平时，系统将从内部 MTP 读取参数。如果读取 MTP 失败，系统将重试读取 MTP，直到成功为止。在这段时间内，PFC 和 LLC 保持关闭状态。SUPIC 被调节至 $V_{\text{start(SUPIC)}}$ 电平。

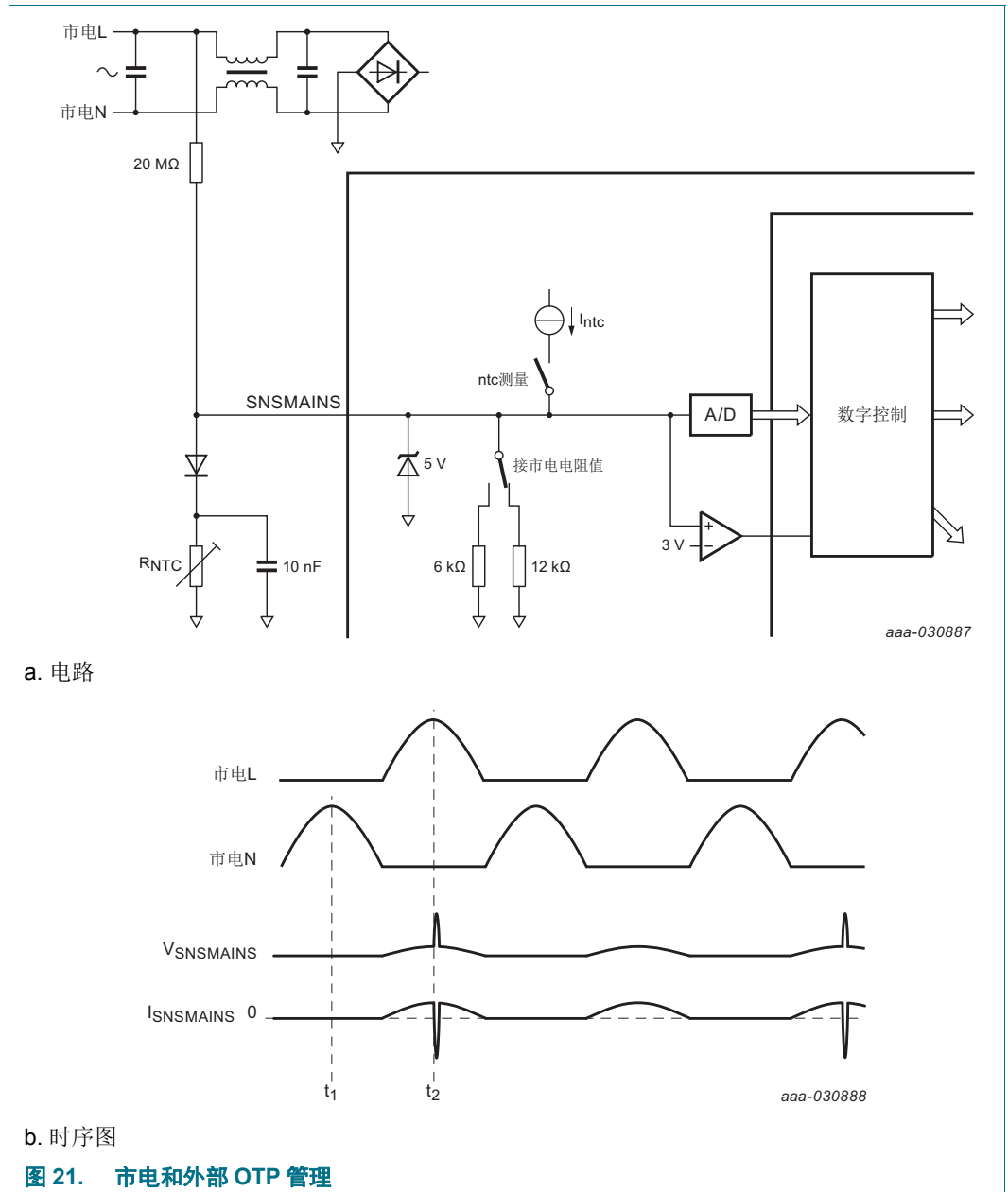
8.6.3 内部过温保护 (OTP)

本 IC 提供了一个精确的内部温度保护电路。当结温超过关断温度时，PFC 和 LLC 停止开关。

内部 OTP 的响应遵循外部 OTP 的设置。可以锁存或安全重启。

8.6.4 Brownin/brownout 和外部过温保护

在 TEA2016AAT 上，市电测量和外部温度检测在 SNSMAINS 引脚上合二为一（参见图 21）。



TEA2016AAT 通过 A/D 转换器连续测量 SNSMAINS 电压，并一直等到检测到峰值 (t1) 为止。该峰值在内部存储，用作 brownout/brownin 检测和市电补偿的输入。

TEA2016AAT 连续测量市电电压。有一个内部计数器，用于计算峰值数量。在四分之一的峰值中，它会测量外部温度。

8.6.5 短路保护 / 快速禁用

在 SNSBOOST 引脚电压超过 $V_{scp(start)}$ 之前，PFC 和 LLC 不会开始开关动作。此功能用作升压电压的短路保护。

当 SNSBOOST 引脚接地短路或 SNSBOOST 上拉电阻断开时，此保护会禁止开关动作。

此功能也可以用作快速禁用。如果此引脚通过外部 MOSFET 接地短路，则系统将停止开关或进入保护模式，然后安全重启或锁存保护。这样就可以添加额外的外部保护。

8.6.6 市电掉电

在 TEA2016AAT 上，市电测量和外部温度检测在 SNSMAINS 引脚上合二为一。

为防止 PFC 在超低市电输入电压下工作，当测得的市电电压降至掉电电平以下时，PFC 将停止开关。当市电电压超过 $brownin$ 电平时，PFC 将以软启动方式重启。为避免系统在短暂市电中断期间被中断，可以在掉电功能激活之前设置延迟。

连接在市电输入电压之间的外部电阻可以是 $20M\Omega$ 或 $10M\Omega$ 。这些值可以通过参数设置。

通常，只有 PFC 会停止开关，LLC 则会在掉电时继续工作。由于使用大容量 PFC 主电容器，因此在市电已经断开的情况下，LLC 可以持续很长时间。因此，可以通过参数选择相应选项，使 LLC 在给定延迟后在掉电时停止工作。

8.6.7 过压保护（SNSBOOST 引脚）

为了防止负载阶跃和市电瞬变期间出现输出过压，内置了 PFC 输出过压保护电路。当 SNSBOOST 引脚上的电压超过 $V_{ovp(stop)}$ 电平时，将禁用功率因数校正电路的开关。当 SNSBOOST 引脚电压再次下降到调节电平 ($V_{reg(SNSBOOST)}$) 以下时，PFC 将重新开始开关。IC 始终以软启动方式重启。

当在 SNSBOOST 处检测到 OVP 持续最短期间（可以用参数设置）时，也可以禁用 LLC。

8.6.8 过压保护（DRAINPFC 引脚）

为了防止由于 SNSBOOST 引脚受到干扰而导致 PFC 输出过压，增加额外的 PFC 输出过压保护。该过压保护通过 DRAINPFC 引脚进行测量。

可以使用参数设置 DRAINPFC 过压保护电平以及进入保护状态之前的延迟。

DRAINPFC 过压保护可以是锁存、安全重启或安全重启后锁存。

8.6.9 过流保护（SNSCURPFC 引脚）

PFC 电流是通过连接到 SNSCURPFC 引脚的外部检测电阻 (R_{sense}) 来测量的。如果电压降至 $V_{ocp(PFC)}$ 以下，则 PFC MOSFET 关闭，在下一个周期恢复开关。为了确保不因 PFC MOSFET 导通所致干扰而超过 OCP 电平，OCP 电平将消隐 300 ns (t_{leb})。

8.6.10 PFC 线圈短路保护（SNSCURPFC 引脚）

连续触发过流保护时，可能是 PFC 线圈短路的原因。为避免过热，OCP 连续触发 100 ms ($t_{ocp(PFC)}$) 时，系统进入保护状态。PFC 和 LLC 转换器停止开关，然后重启。

8.6.11 欠压保护 SUPHS

为了确保高边驱动器输出端 (GATEHS) 的最小驱动电压, 当驱动器的电压低于最低电平 ($V_{SUPHS} < V_{rst}(SUPHS)$) 时, 驱动器保持关闭。

8.6.12 升压电压欠压保护

PFC 输出电压是通过连接到 SNSBOOST 引脚的电阻分压器来测量的。在允许 LLC 转换器开始开关之前, SNSBOOST 引脚的电压必须超过启动电平 ($V_{SNSBOOST} > V_{start}(SNSBOOST)$)。

当系统正在工作, 且 SNSBOOST 引脚的电压降低至最低电平之下时 ($V_{SNSBOOST} < V_{uvp}(SNSBOOST)$), LLC 转换器停止开关。当该电压超过启动电平时, 转换器重新启动。

8.6.13 过压保护

当 SUPIC 引脚上的电压超过 $V_{ovp}(SUPIC)$ 电平且持续 $t_{ovp}(SUPIC)$ 时, 将触发 OVP 保护。SUPIC 引脚的电压通过内部 ADC 转换器连续监测。

可以通过参数选择 OVP 保护电平 ($V_{OVP}(SUPIC)$) 和 OVP 延迟时间。

也可以禁用 OVP 功能。

8.6.14 电容模式调节 (CMR)

TEA2016AAT 具有电容模式调节 (CMR) 功能, 确保系统始终在电感模式下工作, 避免在电容模式下运行。

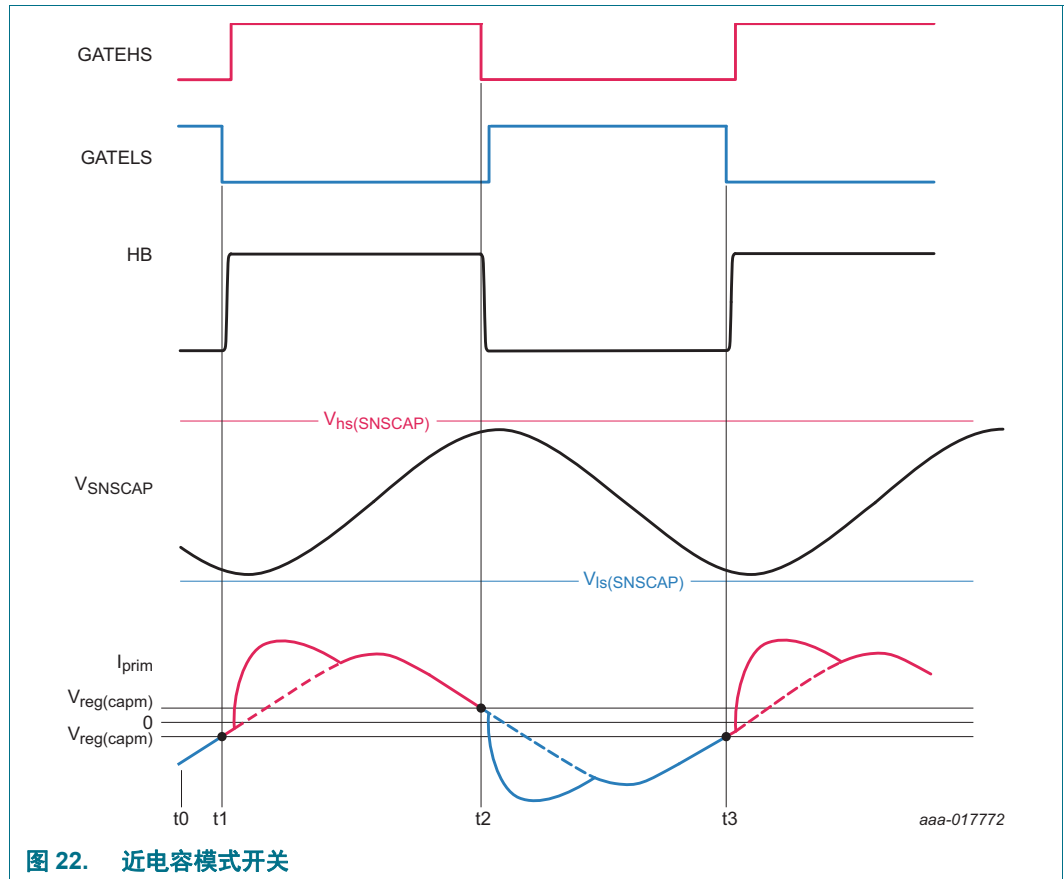
在较低的输入电压和较高的输出功率下, 在电容器电压达到调节电平之前, 谐振电流可能已经接近零, 这要取决于谐振设计。

如果在开关关闭和另一个开关打开之前, 谐振电流已经改变了极性, 则会发生硬性开关。此事件称为电容模式。为了避免系统在电容模式下工作, 当谐振电流接近零时, 系统还会关闭高边 / 低边开关。

[图 22](#) 显示当谐振转换器在 CMR 模式下开关时产生的信号。在时间 t_1 和 t_3 , 在 V_{SNSCAP} 达到 $V_{Is}(SNSCAP)$ 之前, 当谐振电流接近零时, 低边开关处于打开状态。在时间 t_2 , 当分压电容器电压 (V_{SNSCAP}) 尚未达到 $V_{hs}(SNSCAP)$ 电平时, 谐振电流也接近于更改极性。为了避免高边开关在负电流下关闭, 或避免低边开关在正电流下关闭, 系统还在一次电流接近零时关闭高边 / 低边开关。因此, 在时间 t_2 , 由于一次电流接近零, 高边开关被关闭。在时间 t_3 和 t_1 , 虽然 V_{SNSCAP} 尚未达到调节电平 ($V_{Is}(SNSCAP)$), 低边开关被关闭。一次电流是通过连接到 SNSCURLLC 引脚的外部检测电阻来测量的。电容模式保护电平是 $V_{reg}(capm)$ (分别为 -100 mV 和 $+100\text{ mV}$)。这些保护电平可以通过参数进行调节。

在这种模式下, 输出功率数减少, 输出电压降低。

TEA2016AAT 不会进入所谓的“电容保护模式”, 而是避免这种运行模式。



8.6.15 过流保护

系统通过连接到 SNSCURLLC 引脚的检测电阻来持续测量一次电流。如果测量的电压超过了固定过流电平 (V_{OCP})，对应的开关 (GATELS/GATEHS) 将被关闭，但系统继续开关。通过这种方式，一次电流被限制为 OCP 电平。

OCP 电平可通过外部感测电阻进行调节。

如果 OCP 在可调时间内连续触发，则系统将进入 OCP 保护状态。也可以禁用 OCP 保护状态。但是，一次电流始终限于 OCP 电平。

8.6.16 最大启动时间

开始时，PFC 在启动时即开始开关。当 PFC 输出电压超过最低电平时，LLC 也开始开关。

如果在 PFC 开始开关后的可调时间内 LLC 的输出电压未处于调节状态，则会触发最大启动时间保护。

最大启动时间可以通过参数“最大启动时间”设置。如果触发了此保护，则系统将锁存或安全重启，具体取决于 OPP 的设置。

8.6.17 过功率保护

对于过功率保护，可以设置三个电平：

- 绝对最大输出功率，即最高输出功率。
当输出功率超过此最高限值时，第一过功率限值则逐周期进行限制。如果输出功率超过此最大值，则输出电压会降低。
可以将最大输出功率设置为额定输出功率的百分比。
- 第一过功率限值，低于最大输出功率电平。
当输出功率超过此功率限值时，将启动计时器。当此计时器超过预定义值时，系统进入保护状态。PFC 和 LLC 均关闭。
可以将此功率限值设置为低于所选最大输出功率的预定义限值。因此，如果最大输出功率设为 170%，并且第一过功率限值设为 -20%，则计时器将在额定输出功率的 150% 时启动。也可以设置第一过功率限值的计时器，以及禁用第一过功率限值。
- 第二过功率限值，通常低于第一过功率限值。
当输出功率超过此功率电平时，将启动计时器。当此计时器超过预定义值时，系统进入保护状态。PFC 和 LLC 关闭。
可以将此功率电平设置为低于所选最大输出功率的预定义限值。因此，如果输出功率设为 170%，并且第二过功率限值设为 -50%，则计时器将在额定输出功率的 120% 时启动。可以将第二过功率限值的计时器设置为预定限值。也可以禁用第二过功率限值。

过功率功能可以锁存或安全重启。[第 8.6.18 节](#)介绍了此功能。

8.6.18 锁存、安全重启或安全重启后锁存

当选择锁存保护时，则在触发该保护时系统将停止开关。仅在快速锁存复位（参见[第 8.6.19 节](#)）或 SUPIC 供电电压降至 UVP 电平以下时，系统才会重启。

选择“安全重启后锁存”时，保护最初是安全重启保护。如果在特定时间内再次发生故障，则会最终锁存。

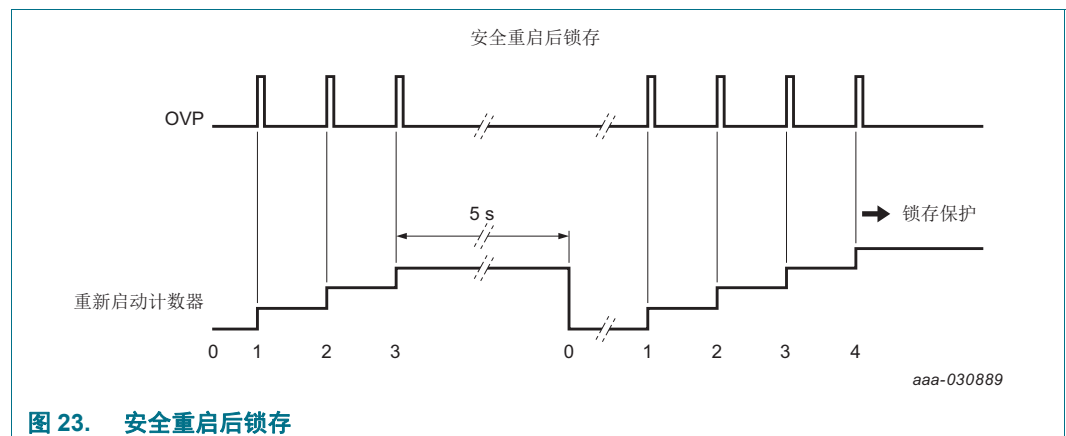


图 23. 安全重启后锁存

[图 23](#) 为 OVP 设置为安全重启后锁存的示例。系统最初在 OVP 时重启，然后将内部计数器设置为“1”。如果安全重启后再次触发保护，则计数器递加。如果计数器达到通过参数设置的数目，系统将锁存。如果 5 秒钟内未触发保护，计数器将重置。

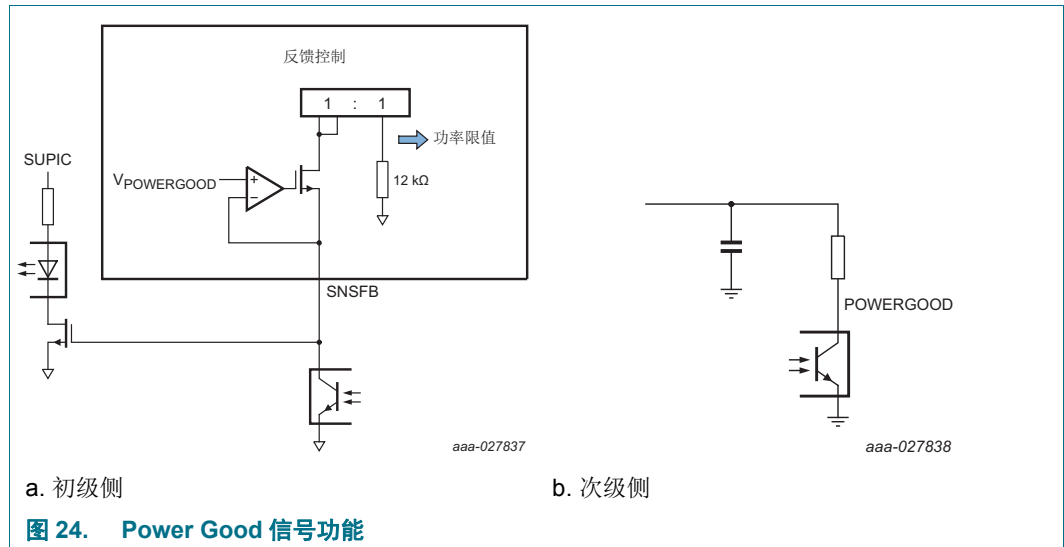
当选择的保护为安全重启时，系统会在预定义的期间后连续重启。所有保护功能的安全重启时间均相同。可以使用参数进行设置。

8.6.19 快速锁存复位

如果触发了保护，则系统进入保护状态。尤其是在保护被锁存时，此功能在生产测试期间很不方便。因此，当市电电压低于掉电电平在特定时间时，系统也会重启。可以使用参数设置该时间。

8.7 Power Good 信号功能

TEA2016AAT 通过 SNSFB 引脚提供 Power Good 信号功能。



SNSFB 引脚的主要功能是通过光耦合器调节输出电压。因此，它测量从 SNSFB 汲取的电流。它通过一个内部 $12\text{k}\Omega$ 电阻调节输出功率。输出功率调节与 SNSFB 引脚的电压电平无关。因此，如果系统将要停止运行，则使用 SNSFB 引脚上的电压电平进行指示；所谓的 Power Good 信号。SNSFB 引脚上的电压可用于通过外部 MOSFET 和光耦合器生成次级 Power Good 信号。

在启动时，SNSFB 电压处于高电平，从而拉低次级 Power Good 信号。一旦系统进入工作状态（参见图 5），SNSFB 就会变低。外部 Power Good 信号变为高电平有效。

在以下情况下，SNSFB 电压变为高电平有效，从而降低次级 Power Good 信号：

- SNSBOOST 引脚上的电压降低至 $V_{\text{det}}(\text{SNSBOOST})$ (1.75 V) 以下
- OPP 计数器接近其最终值
- 由于存在 OTP 保护，转换器即将停止运行
- 启用此功能后，由于市电掉电而使 LLC 转换器停止运行时

为了避免对调节环路造成任何干扰，SNSFB 电压的增加和减少应与预定义的斜率保持一致。

当系统进入保护模式（OVP、OCP 或 UVP）时，它会拉高 SNSFB 引脚，并立即停止开关。

8.8 设置

TEA2016AAT 搭载有内部 MTP，可以在该 MTP 上编程不同的设置。

免责声明：

可以使用恩智浦半导体公司的“Ringo” GUI 软件来更改 MTP 参数设置。在使用 GUI 更改任何 MTP 参数之前，用户必须接受启动弹出屏幕所述条款和条件。

8.8.1 常规设置

8.8.1.1 保护寄存器

当 TEA2016AAT 触发保护时，可以读取触发了哪项保护。即使找到了保护的根源原因并且转换器继续开关，有关保护的信息仍然会保留，直到软件程序 (GUI) 将其清除为止。

8.8.1.2 电源启动电平

SUPIC 启动电平范围为 12 V 至 19 V。通常，选择 19 V 电平。当 TEA2016AAT 由外部供电（例如通过备用电源）时，可以使用较低的 12 V 启动电平。

8.8.1.3 读取锁定

通常，软件工具可以读取所有编程设置。此选项可用于验证设置是否正确或者进行故障分析。

但是，一旦投入生产，使能“读取锁定”位就可以起到保护参数的作用。此后就无法再读取 MTP 内容了。但是，仍可以将其重置为默认值，并清除读取锁定参数。

8.8.1.4 写入锁定

为避免 MTP 内容被（意外）覆盖，可以设置写入锁定位。但是，仍可以将其重置为默认值，并清除写入锁定参数。

8.8.2 PFC 设置

8.8.2.1 软启动时间

对于 PFC 的软启动时间，可以选择以下时间：2 ms、4 ms、6 ms 或 8 ms。

8.8.2.2 有源 X 电容器放电

当 TEA2016AAT 检测到市电断开时，在延迟 $t_{d(dch)Xcap}$ 后将激活 X 电容器放电。可以选择以下延迟时间：100 ms、200 ms 和 400 ms。也可以禁用此功能。

8.8.2.3 市电测量阻抗

为了实现低空载输入功率电平，连接到 SNSMAINS 引脚、用于测量市电输入电压的外部电阻通常为 20MΩ。

但是，有些应用要求最大电阻为 10MΩ。通过此位，可以为外部电阻器选择 10MΩ 或 20MΩ，而不会影响与市电电压相关的电平，例如过压和掉电。

8.8.2.4 突发模式：输出电压纹波

当 PFC 进入突发模式时，如果反映 PFC 输出电压的 SNSBOOST 电压达到其调节电平时，则将停止开关。当 SNSBOOST 引脚上的电压降至编程电平时，PFC 将再次被使能。对于这两个电平之间的差异，可以选择以下的值：35 mV、70 mV 和 140 mV。这些值通常对应于 6 V、12 V 或 24 V 的 PFC 输出电压上的纹波。

PFC 突发模式也可以同步到 LLC 突发模式。此时，它将遵循 LLC 的导通和关闭期间。但它可以确保 SNSBOOST 达到其调节电平。

8.8.2.5 突发模式：软启动 / 软停止时间

为了将 PFC 的声频噪声降至最低，可以独立选择突发模式软启动和软停止。可选值为：1 ms、2 ms 和 4 ms。也可以禁用额外的软启动和软停止。

8.8.3 LLC 设置

8.8.3.1 启动

最大（启动）频率

LLC 的最大开关频率限制为使用参数定义的值。该值还定义了启动期间的最大开关频率。可以将最大频率设置为 150 kHz 到 1 MHz 之间的不同值。

LLC 软启动时间

LLC 软启动时间定义了转换器降低其开关频率的速率。较高的速率可缩短启动时间。但可能导致高充电电流和输出电压过冲。对于软启动时间，可以选择以下值：2 ms 至 16 ms，步长为 2 ms。

启动期间的最大一次电流

启动时，LLC 以最大频率开始开关，然后降低频率直到 ΔV_{SNSCAP} 达到所需电平为止。如果在此启动时间内，反映输出电流的一次电流达到了预定电平，则暂时不进一步降低频率，直到一次电流再次降至该电平以下为止。该电平通过 SNSCURLLC 引脚测量。可以选择以下值：0.5 V、0.75 V、1.0 V 或 1.25 V。

8.8.3.2 LLC 开关

ΔV_{SNSCAP} 存储电平

当系统处于低功率模式时，开关周期之后是等待期间。系统确保其继续运行的阶段与其停止时的阶段相同。为了达到最大效率，可以对最后一个开关周期的末尾进行微调。对于 ΔV_{SNSCAP} 存储电平，可选值为 2.525 V 至 2.7 V，步长为 25 mV。

最小非叠加时间

为确保在打开 GATELS 之前正确关闭 GATEHS（反之亦然），需要设置最短非叠加时间。对于最小非叠加时间，可以选择以下值：50 ns、100 ns、150 ns 或 200 ns。

最大非叠加时间

关闭 GATEHS 引脚后，当系统未在 HB 节点处检测到波谷时，系统将在最大非叠加时间之后打开 GATELS。关闭 GATELS 并打开 GATEHS 之后，如果未在 HB 节点检测到峰值，亦是如此。对于最大非叠加时间，可以选择以下值：0.5 μs 、0.7 μs 、0.9 μs 或 1.1 μs 。

最大导通时间

当 GATELS 或 GATEHS 的导通时间超过最大导通时间时，开关将关闭，LLC 转换器开始下一个周期。对于最大导通时间，可以选择以下值：10 μs 、20 μs 、30 μs 或 40 μs 。

电容模式调节

当反映谐振电流的 SNSCURLLC 引脚上的电压降至预定义值以下时，LLC 转换器开始下一个开关周期。这样，TEA2016AAT 可以避免转换器以电容模式工作。对于电容模式调节，可以选择以下值：20 mV 至 160 mV，步长为 20 mV。

8.8.3.3 反馈

光耦合器电流

为了实现低空载输入功率，必须将通过光耦合器的电流设置为低限值。但是，根据所选的光耦合器，可能需要更高的光耦合器电流。因此，可以将光耦合器电流设置为 80 μA 至 1.2 mA 范围内的不同值。

8.8.3.4 工作模式

HP-LP 转换限值

当输出功率降至预定义限值以下时，系统将从 HP 切换到 LP 模式。HP-LP 转换限值可以设置为 10% 至 54% 之间的不同值。

HP-LP 转换迟滞

当系统在 LP 模式下运行时，如果输出功率超过所选的 HP-LP 转换限值与迟滞之和，则会切换到 HP 模式。对于迟滞，可以选择以下值：所选 HP-LP 转换限值的 10%、20%、30% 或 40%。因此，如果 100% 时的额定输出功率为 100 W，则 HP-LP 转换限值设置为 30%，迟滞设置为 10%。最终的迟滞为 3W。

LP-BM 转换限值

当输出功率降至 LP-BM 转换限值以下时，系统进入突发模式。可以将 LP-BM 转换限值设置为 1% 到 25% 范围内的不同值。

LP-BM 转换限值调整

可以将 LP-BM 转换限值设置为超低值。但是，受系统延迟影响，输出功率可能会增加。LP-BM 转换限值的设置可以分几步完成，达到额定输出功率 0.7% 的精度。

BM-LP 转换限值

当系统在突发模式下运行并且输出功率增加到超过 LP-BM 转换限值与迟滞限值之和时，系统将进入低功率模式。对于此迟滞限值，可以选择以下值：所选 LP-BM 转换限值的 25%、50%、75% 和 100%。因此，如果 100% 时的额定输出功率为 100 W，则 LP-BM 转换设置为 10%，迟滞设置为 50%。系统从突发模式切换到 15 W 的低功率模式。

BM-LP 转换限值滤波器

当输出功率缓慢增加时，系统会通过设置突发模式到低功率模式转换滤波器，确保在退出突发模式并进入低功率模式时能平稳转换。当输出功率超过 BM-LP 转换电平与 2、4、6 或 8 个突发周期的迟滞之和时，将退出突发模式并进入低功率模式。当输出出现较大瞬变时，系统将立即退出突发模式。

BM 重复频率

当系统在突发模式下运行时，将被调节至固定频率。可以将该频率设置为 20 Hz 至 3.2 kHz 范围内的不同值。

BM E/C（每周期能源）增量

由于 TEA2016AAT 通过初级电容器电压调节输出，因此它有能力在进入突发模式时增加每个开关周期输出功率。为了增加每个开关周期的输出功率（也称为 E/C（每周期能量）），可以设置 1 到 8 之间的不同值。例如，当 E/C 设为 4 时，系统进入突发模式时会将 E/C 增加 4 倍。则初始占空比为 25%。在突发模式下增加 E/C 可以提高系统效率，但其代价是输出电压纹波会增高。

BM 软启动 / 软停止

为了将突发模式下的声频噪声降至最低，可以添加软启动和软停止。软启动和软停止可以独立初始化，而软启动 / 软停止周期数的设置范围为 0 至 6。这样，可以根据所选变压器优化软启动和软停止周期。

BM 最小周期

由于额外的软启动和软停止周期会减少声频噪声，因而会增加开关损耗。为了相对于增加的软启动和软停止开关周期优化正常开关周期的数量，可选最小正常开关周期数为 1 至 12。

突发末期 SNSFB 电流

当系统以突发模式运行时，会调节开关周期数，使突发频率对应于所选突发频率。如果在这些开关周期内输出负载减小，由于系统已计算出所需开关周期数，因此输出电压会增加。如果在 SNSFB 引脚上测得的光耦合器电流超过某个限值，则系统将终止突发开关周期。该电平可以是所选光耦合器电流电平的 2.5 倍、3.75 倍、5 倍或 7.5 倍。

低功率频率

可以通过定义必须启动下一个低功耗周期的振铃次数来选择低功率模式的频率。可选项为 1 至 8，步长为 1。

SNSBOOST 补偿

LLC 转换器输入电压的纹波通常会在输出电压中导致纹波。为了尽量减小输出电压上的纹波，TEA2016AAT 通过 SNSBOOST 引脚测量 LLC 输入电压，并通过前馈补偿来补偿 SNSCAP 电压。为了使输出电压纹波最小，其采用了前馈补偿机制。由于补偿取决于外部组件，因此可以将其设置为 8 种不同的补偿值。

8.8.4 保护设置

8.8.4.1 通用保护

快速锁存复位延迟时间

当系统未在设定时间内检测到市电电压时，将假定市电已断开并重置所有保护。当市电电压再次超过 brownin 电压时，系统将重启。可以将检测到掉电（包括掉电延迟时间）与重置所有保护之间的延迟编程为 0 s 至 10 s 范围内的不同值。

安全重启时间

当系统处于保护模式且被触发保护被编程为安全重启时，系统将在安全重启时间后重启。该时间可以设置为 0.5 s 至 10 s 范围内的不同值。

外部 OTP 限值

外部应用温度通过连接到 SNSMAINS 引脚的 NTC 进行测量。为了能设置适当的 NTC 值和 OTP 电平，用于测量外部 NTC 值的内部电流可以设置为 150 μ A 至 1050 μ A 之间的值，步长为 150 μ A。

内部 OTP 电平

内部 OTP 固定为 140°C。内部 OTP 被触发时，其响应与外部 OTP 所选响应相同，即锁存、安全重启或安全重启后锁存。

8.8.4.2 PFC 通用保护

Brownin/brownout 限值

对于过压电平 brownin 限值，在 70 V(AC) 至 190 V(AC) 之前有若干值可选。对于过压和掉电平 brownin 和 brownout 限值之间的迟滞，在 2 V(AC) 至 17 V(AC) 之间有若干值可选。

当市电电压低于掉电电压并且持续可选时间时，系统将进入掉电状态。此时，可以在 25 ms 至 1.2 s 范围内选择多个值。

PFC OCP 限值

PFC OCP 限值固定为 $V_{ocp(PFC)}$ 。外部检测电阻可以选择相应的电流值。

为避免在打开 PFC MOSFET 时错误触发 OCP 功能，在 PFC MOSFET 开启并激活内部 OCP 功能后，会出现短暂的消隐时间。对于此消隐时间，可以选择以下值：200 ns、300 ns、400 ns 或 500 ns。

PFC 最大导通时间

当 PFC MOSFET 的导通时间超过最大导通时间时，PFC MOSFET 将关闭，并在下一个周期再次导通。对于最大导通时间，可以选择以下值：37.5 μ s、50 μ s、75 μ s 和 100 μ s。

PFC 输出 OVP

PFC 输出电压是通过 SNSBOOST 引脚和 DRAINPFC 引脚测量的。对于 SNSBOOST 引脚上的 OVP，可以选择以下值：2.60 V、2.63 V、2.65 V 或 2.70 V。

当在 SNSBOOST 引脚上检测到 OVP 时，PFC 停止开关，并在其电压下降至调节电平以下时再次继续。

对于 DRAINPFC 引脚上的 OVP，可以选择以下值：475 V、500 V、525 V 或 550V。为避免错误触发，可以在 2 ms、5 ms 和 20 ms 之间选择一个延迟。在此延迟期间，PFC 的输出电压被限制为该最大值。

DRAINPFC 引脚上 OVP 的响应可以锁存、安全重启或安全重启后锁存。也可以禁用此功能。

波谷检测超时

通常，在消磁后的一段时间内会检测到波谷。但是，当 PFC 控制回路检测到消磁但在一定时间内未检测到波谷时，就会认为振铃太小而无法检测波谷。因此，它会在指定时间后假设有一个波谷。这时可以选择以下值：5 μs 、10 μs 、15 μs 或 20 μs 。

PFC 最小关闭时间

为避免误触发消磁和波谷检测，可以选择 PFC 驱动器输出最小关闭时间。可选值为 250 ns、500 ns、1 μs 和 1.5 μs 。

PFC 最大开关频率

为了提高 PFC 的效率，对其开关频率进行了限制。对于 PFC 最大开关频率，可以选择以下值：75 kHz、125 kHz、250 kHz 和 500 kHz。

8.8.4.3 LLC 通用保护

最大启动时间

当系统开始开关时，其期望 LLC 输出电压会在最大启动时间内达到其调节电平。对于最大启动时间，可以选择以下值：25 ms、50 ms、100 ms 和 200 ms。当 PFC 开始开关时，此计时器启动。

LLC brownout 电压 (SNSBOOST)

当 SNSBOOST 上的电压下降至预定义电平以下时，LLC 转换器进入保护状态。当 SNSBOOST 电压超过启动电平时，LLC 转换器再次开始开关。

对于 SNSBOOST 的 LLC 掉电电平，在 1.0 V 至 1.7 V 有几个电平可选。

LLC brownin 电压 (SNSBOOST)

LLC 的 brownin 电压定义了 LLC 开始开关之前 SNSBOOST 引脚上的最小电压。对于此电平，可以选择 2.1 V 至 2.4 V 范围内的值，步长为 0.1 V。

LLC brownout 计时器 (SNSMAINS)

当市电断开时，PFC 将在掉电延迟后停止开关。通常，LLC 转换器会继续开关，直到 LLC 输入电压降至最低电平以下。特别是在输出端最小负载条件下，LLC 降至最低电平可能需要很长时间。

可以初始化一个计时器，当在市电输入端检测到掉电时，该计时器也将禁用 LLC 转换器。此时，可以选择介于 125 ms 和 6 s 之间的值，另一个可选项是 LLC 转换器保持开关状态直到其输入电压降至最低电平以下。

LLC 最大输入电压 (SNSBOOST)

当在 SNSBOOST 引脚上检测到 OVP 时，PFC 将始终停止开关。可以将 LLC 的响应设置为继续工作，或者停止开关，直到 SNSBOOST 的电压降至 PFC 输出电压调节电平以下。延迟可以设为 5 ms、50 ms 或 500 ms。

功率限值

转换器的最大输出功率受控制器限制。此限制可确保施加的负载低于所选组件的最大额定值。对于最大输出功率，可以选择介于额定功率的 100% 和 200% 之间的若干限值。

第一 OPP 电平

当输出功率超过第一 OPP 电平时，将启动第一计数器。当输出功率在选定时间内连续超过此 OPP 限值时，系统将进入保护状态。对于 OPP 限值，可以选择低于所选功率限值 0% 至 -50% 的限值。

此时，可选值的范围为 0 s 至 3 s。此保护的响应可以锁存、安全重启或安全重启后锁存。也可以禁用此 OPP 限值。

第二 OPP 电平

当输出功率超过第二 OPP 电平时，将启动第二计数器。当输出功率在选定时间内连续超过此 OPP 限值时，系统将进入保护状态。对于 OPP 限值，可以选择低于所选功率限值 -10% 至 -90% 的限值。

此时，可选值的范围为 50 ms 至 3 s。此保护的响应与第一 OPP 电平所选响应相对应。也可以禁用此 OPP 限值。

OPP 占空比

当输出功率超过 OPP 且占空比为 50% 时，OPP 可能会触发，也可能不会触发。因此，可以使用参数将最终触发 OPP 的占空比设置为 11%、20%、33% 或 50%。

OVP 保护

在谐振转换器中，SUPIC 引脚上的电压反映输出电压。当 SUPIC 电压超过定义电平时，将触发 OVP 保护。可以将电平设为启动电平以上 1 V 至 16 V 之间，步长为 1V。

为了避免错误触发，可以将延迟设置为 10 μ s 至 800 μ s 的不同值。此保护的响应可以锁存、安全重启或安全重启后锁存。也可以禁用此 OVP 功能。

OVP 占空比

为了尽量减小 OVP 功能的灵敏度，可以设置一个会最终触发 OVP 的占空比。该参数可以设置为 11%、20%、33% 或 50%。

OCP 保护

谐振回路中的电流是在 SNSCURLLC 引脚上测量的。当此引脚上的电压超过 OCP 电平时，相应的开关（GATELS 或 GATEHS）将关闭，系统将开始下一个周期。因此，输出功率采用逐周期限制设计。如果 OCP 持续设定的周期数，则会触发 OCP 保护。周期数可设为 5 至 1000 之间的不同值。

此保护的响应可以锁存、安全重启或安全重启后锁存。也可以禁用 OCP 保护功能。然而，输出功率将保持逐周期受限不变。

8.8.5 Power Good 设置

Power Good 信号功能可向负载发出警告，说明转换器因市电断开或保护功能触发而关闭了。

Power Good 时间

Power Good 时间是指示转换器即将关闭的 Power Good 信号的出现时间与转换器最终停止开关的时间之间的时间。此延迟可以设为 2 ms、4 ms、6 ms 或 8 ms。

OTP 下的 Power Good 信号

当转换器因检测到 OTP 而关闭时，Power Good 信号可以发出预警。OTP 可以是内部或外部 OTP。

Power Good 信号转换与转换器停止开关之间的延迟等于 Power Good 时间。此功能既可使能也可禁用。

OPP 下的 Power Good 信号

当转换器因检测到 OPP 而关闭时，Power Good 信号可以发出预警。当输出功率在既定时间内超过第一 OPP 电平或第二 OPP 电平时，可以发出此预警。

Power Good 信号转换与转换器停止开关之间的延迟等于 Power Good 时间。此功能既可使能也可禁用。

掉电下的 Power Good 信号

当 LLC 转换器因在转换器市电输入上检测到掉电而被关闭时，Power Good 信号可以发出预警。

Power Good 信号转换与转换器停止开关之间的延迟等于 Power Good 时间。此功能既可使能也可禁用。

LLC 掉电电平 (SNSBOOST) 下的 Power Good 信号

当 SNSBOOST 引脚上的测得电压降至所选 LLC 掉电电平以下时，LLC 转换器会停止开关。这种情况通常因市电断开而发生。

当转换器因检测到 LLC 掉电而关闭时，Power Good 信号可以发出预警。当 SNSBOOST 上的电压降至可选值以下时，将触发 Power Good 特性。此电平可选范围为 1.1 V 以及 1.2 V 至 1.9 V，步长为 50 mV。

LLC 最大输入电压 (SNSBOOST)

当在 SNSBOOST 引脚上检测到 OVP 时，可以在指定延迟后禁用 LLC。LLC 的禁用因参数而定。当转换器因 LLC 最大输入电压而关闭时，Power Good 信号可以发出预警。Power Good 信号转换与转换器停止开关之间的延迟等于 Power Good 时间。此功能既可使能也可禁用。

Power Good 就绪延迟

当输出电压在启动后处于调节状态时，Power Good 信号指示输出电压处于调节状态。可以在输出电压达到调节电平的时间与 Power Good 信号转换之间设置一个延迟，可将此延迟设置为 0 s 和 1 s 之间的不同值。

Power Good 转换时间

Power Good 信号功能与连接于 SNSFB 引脚上的反馈网络结合在一起。为了避免 Power Good 信号功能的触发干扰调节环路，其转换时间必须有预定义值。此时间可以设为 1 ms、2 ms、3 ms 或 4 ms。

8.8.6 电阻设置

为了将一个 MTP 版本组合用于不同应用，可以在 IC 中编程 4 个不同的参数版本。连接到 GATELS 引脚的外部电阻决定着使用哪个版本。但这些版本之间可能有差异的参数的数量是有限的。只有以下参数可能不同：

- OPP1 延迟
- OCP 延迟
- 安全重启计时器
- 可以分别将以下保护设置为锁存或安全重启
 - OTP 保护
 - PFC OVP 保护（通过 DRAINPFC 引脚测量）
 - OPP（第一 OPP 电平和第二 OPP 电平拥有相同的响应）
 - LLC OVP 保护（通过 SUPIC 测量）
 - LLC OCP 保护
- 使用该功能时，GATELS 引脚上的电阻值必须与 $R_{\text{setting(GATELS)}}$ 相符。

9. 限值

表 5. 限值

依据绝对最大额定值系统 (IEC 60134)。

符号	参数	条件	最小值	最大值	单位
电压					
V _{DRAINPFC}	DRAINPFC 引脚上的电压	市电浪涌期间 t < 0.5 s ; 10 次, 间隔 0.1 Hz	-0.4	+685	V
V _{SUPIC}	SUPIC 引脚上的电压		-0.4	+36	V
V _{SUPHS}	SUPHS 引脚上的电压	市电浪涌期间 t < 0.5 s ; 10 次, 间隔 0.1 Hz	-0.3	+685	V
		HB 引脚	- 0.4	+13	V
V _{GATEHS}	GATEHS 引脚上的电压		V _{HB} - 0.4	V _{SUPHS} + 0.4	V
V _{HB}	HB 引脚上的电压	市电电涌期间; t < 0.5 s ; 10 次, 间隔 0.1 Hz	-3	+685	V
		t < 1 μs	-13	-	V
SR _{max(HB)}	HB 引脚上的最大压摆率		-70	+70	V/ns
V _{GATELS}	GATELS 引脚上的电压		[1] -0.4	+14	V
V _{GATEPFC}	GATEPFC 引脚上的电压		[1] -0.4	+14	V
V _{SNSCAP}	SNSCAP 引脚上的电压		-0.4	+12	V
V _{SNSCURLLC}	SNSCURLLC 引脚上的电压		-0.4	+12	V
V _{SNSCURPFC}	SNSCURPFC 引脚上的电压	t < 0.1 s ; 连接到 SNSCURPFC 引脚且外部 串联电阻为 100Ω 时的 电压	-18	+12	V
		DC ; 最大值	-0.4	+12	V
V _{SNSFB}	SNSFB 引脚上的电压		-0.4	+12	V
V _{SNSBOOST}	SNSBOOST 引脚上的电压		-0.4	+12	V
V _{SNSMAINS}	SNSMAINS 引脚上的电压		-0.4	+12	V
概览					
P _{tot}	总功耗	T _{amb} < 75 °C	-	0.7	W
T _j	结点温度		-40	+150	°C
T _{stg}	存储温度		-55	+150	°C
锁存					
I _{lu}	锁存电流	全部引脚; 根据 JEDEC ; 标准 78D	-100	+100	mA

表 5. 限值 (续)
依据绝对最大额定值系统 (IEC 60134)。

符号	参数	条件	最小值	最大值	单位
静电放电					
V _{ESD}	静电放电电压	人体模型			
		SUPHS、GATEHS、HB 和 DRAINPFC 引脚	-1000	+1000	V
		其他引脚	-2000	+2000	V
		器件充电模型；全部引脚	-500	+500	V

[1] 尽管 GATE 引脚是输出引脚，但这些引脚的最大电压都不得超过最大驱动输出电压 20%。

10. 热特性

表 6. 热特性

符号	参数	条件	典型值	单位
R _{th(j-a)}	从结点到环境的热阻值	在自由空气中；JEDEC 测试板	107	K/W
R _{th(j-c)}	从结点到机壳的热阻值	在自由空气中；JEDEC 测试板	60	K/W

11. 特性

表 7. 特性

$T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$; $V_{SUPIC} = 19.5\text{ V}$; 所有电压均基于 GND 测量；流入 IC 的电流为正电流；除非另做说明。

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
DRAINPFC 引脚						
$I_{off}(\text{DRAINPFC})$	DRAINPFC 引脚上的关断状态电流	$V_{\text{DRAINPFC}} = 400\text{ V}$; $V_{\text{SUPIC}} = 19\text{ V}$	-	4	8	μA
ΔV_I	输入电压差	DRAINPFC 和 SUPIC 引脚之间的输入电压差； $I_{\text{DRAINPFC}} = 8.5\text{ mA}$	-	11	-	V
$I_{ch}(\text{SUPIC})$	SUPIC 引脚上的充电电流	$V_{\text{DRAINPFC}} = 30\text{ V}$; $V_{\text{SUPIC}} = 0\text{ V}$	-10	-8.5	-7	mA
SUPIC 引脚						
$V_{start}(\text{SUPIC})$	SUPIC 引脚上的启动电压		18.2	19.0	19.7	V
$V_{start}(\text{hys})\text{SUPIC}$	SUPIC 引脚上的启动电压迟滞		-0.9	-0.7	-0.5	V
$V_{low}(\text{hys})\text{SUPIC}$	SUPIC 引脚上的低电压迟滞		0.50	0.70	0.90	V
$V_{low}(\text{SUPIC})$	SUPIC 引脚上的低电压		11.50	12.00	12.50	V
$V_{uvp}(\text{SUPIC})$	SUPIC 引脚上的欠压保护电压		9.6	10.00	10.40	V
$\Delta(V_{low}-V_{uvp})\text{SUPIC}$	低压至欠压保护电压差	$V_{low} - V_{uvp}$	1.7	2.0	2.3	V
$V_{rst}(\text{SUPIC})$	SUPIC 引脚上的复位电压		8.60	9.00	9.40	V
$I_{CC}(\text{SUPIC})$	SUPIC 引脚上的电源电流	非工作模式； $I_{\text{snsfb}} = -100\text{ }\mu\text{A}$; $I_{\text{sns cap}} = -100\text{ }\mu\text{A}$	-	865	-	μA
		工作模式； $f_{\text{HB}} = 100\text{ kHz}$; $I_{\text{snsfb}} = -80\text{ }\mu\text{A}$; $I_{\text{sns cap}} = -100\text{ }\mu\text{A}$; 驱动器引脚 断开	-	4.8	-	mA
输出过压保护						
$V_{O(ovp)}\text{SUPIC}$	SUPIC 引脚上的输出过压保护电压		27.3	28.1	28.9	V
$t_{d(ovp)}\text{SUPIC}$	SUPIC 引脚上的过压保护延迟时间		45	50	55	μs
市电电压检测 (SNSMAINS 引脚)						
$I_{clamp}(\text{max})$	最大钳位电流	$V_{\text{SNSMAINS}} = 9.5\text{ V}$	2.5	-	-	mA
$I_{l(\text{lim})}\text{SNSMAINS}$	限制 SNSMAINS 引脚上的输入电流	SNSMAINS 限值测量输入电流	17.6	19.0	20.4	μA
I_{bi}	brownin 电流		5.14	5.52	5.90	μA
I_{bo}	掉电电流		4.41	4.75	5.09	μA
$I_{bo}(\text{hys})$	掉电电流迟滞	$I_{bi} - I_{bo}$	660	770	880	nA
$t_{d(\text{det})bo}$	掉电检测延迟时间	PFC	45	50	55	ms
		LLC	225	250	275	ms

表 7. 特性 (续)

$T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$; $V_{SUPIC} = 19.5\text{ V}$; 所有电压均基于 GND 测量; 流入 IC 的电流为正电流; 除非另做说明。

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
外部过温测量						
$I_{O(SNSMAINS)}$	SNSMAINS 引脚上的输出电流		-645	-600	-565	μA
$t_{det(max)NTC}$	NTC 最大检测时间		45	50	55	μs
$V_{det(SNSMAINS)}$	SNSMAINS 引脚上的检测电压	NTC 测量; $I_{SNSMAINS} = -600\text{ }\mu\text{A}$	2.80	3.0	3.16	V
$t_{d(otp)}$	过温保护延迟时间		3600	4000	4400	ms
X 电容放电						
$t_{d(dch)}$	放电延迟时间		180	200	220	ms
SNSCURPFC 引脚						
$I_{O(min)SNSCURPFC}$	SNSCURPFC 引脚上的最小输出电流	用于开路引脚保护; $V_{SNSCURPFC} = 500\text{ mV}$; GatePFC 已导通	-1.25	-1.00	-0.75	μA
$V_{det(SNSCURPFC)}$	SNSCURPFC 引脚上的检测电压	开路引脚检测电平	190	235	280	mV
$V_{det(demag)}$	消磁检测电压		-16	-11	-6	mV
$V_{ocp(PFC)}$	PFC 过流保护电压	GatePFC 已导通	-320	-300	-280	mV
$t_{d(swoff)driver}$	驱动器关闭延迟时间	$dV/dt \leq -100\text{ mV}/\mu\text{s}$	190	265	340	ns
t_{leb}	前沿消隐时间		270	300	330	ns
$t_{d(ocp)PFC}$	PFC 过流保护延迟时间		90	100	110	ms
波谷检测 (DRAINPFC 引脚)						
$\Delta V_{det(min)}/\Delta t$	最小斜率检测电压		-50	-	-25	$\text{V}/\mu\text{s}$
$\Delta V_{det(min)}$	最小检测电压变化	振铃频率 = 1 MHz	20	25	30	V
$t_{to(vrec)}$	波谷识别超时时间		9	10	11	μs
PFC						
PFC 时序						
$t_{off(PFC)min}$	PFC 最小关闭时间		1.35	1.5	1.65	μs
PFC 启动软启动时间						
$t_{start(soft)}$	软启动时间		5.4	6.0	6.6	ms
PFC 最大导通时间						
$t_{on(max)PFC}$	PFC 最大导通时间	低市电电压 (74 V (AC))	45	50	55	μs
		高市电电压	3.6	4.0	4.4	μs
PFC 最大频率						
$f_{sw(PFC)max}$	最大 PFC 开关频率		112.5	125	137.5	kHz
GATEPFC 引脚						
$I_{source(GATEPFC)}$	GATEPFC 引脚上的源电流	$V_{GATEPFC} = 2\text{ V}$; $V_{SUPIC} \geq 13\text{ V}$	-	-0.37	-	A
$I_{sink(GATEPFC)}$	GATEPFC 引脚上的吸电流	$V_{GATEPFC} = 2\text{ V}$; $V_{SUPIC} \geq 13\text{ V}$	-	0.36	-	A
		$V_{GATEPFC} = 10\text{ V}$; $V_{SUPIC} \geq 13\text{ V}$;	-	1.4	-	A

表 7. 特性 (续)

$T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$; $V_{SUPIC} = 19.5\text{ V}$; 所有电压均基于 GND 测量; 流入 IC 的电流为正电流; 除非另做说明。

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
$V_{O(max)GATEPFC}$	GATEPFC 引脚最大输出电压	$V_{SUPIC} = 19\text{ V}$	11.0	-	14.0	V
SNSBOOST 引脚						
PFC 器件						
$I_{pd}(SNSBOOST)$	SNSBOOST 引脚上的下拉电流	$V_{SNSBOOST} = V_{scp(stop)}$ 条件下	25	50	75	nA
$V_{reg}(SNSBOOST)$	SNSBOOST 引脚上的调节电压		2.475	2.500	2.525	V
$V_{stop(ovp)PFC}$	PFC 过压保护停止电压		2.59	2.63	2.67	V
$V_{prot(ovp)PFC}$	PFC 过压保护保护电压	通过 DRAINPFC 引脚	450	500	550	V
$t_{leb(ovp)PFC}$	PFC 过压保护前沿消隐时间	通过引脚 DRAINPFC	360	400	440	ns
LLC 器件						
$V_{uvp}(SNSBOOST)$	SNSBOOST 引脚上的欠压保护电压		1.59	1.64	1.69	V
$V_{start}(SNSBOOST)$	SNSBOOST 引脚上的启动电压		2.1	2.2	2.3	V
$V_{det}(SNSBOOST)$	SNSBOOST 引脚上的检测电压	Power Good 检测电压	1.715	1.75	1.785	V
$\Delta V_{reg-det}$	调节与检测之间的电压差	SNSBOOST 引脚; Power Good 延迟指示	0.735	0.75	0.765	V
快速禁用功能						
$V_{scp(stop)}$	停止短路保护电压		0.37	0.39	0.41	V
$V_{scp(start)}$	启动短路保护电压		0.40	0.45	0.50	V
$t_{ftr(sc)}$	短路保护滤波时间		4.5	5.0	5.5	μs
SNSCAP 引脚						
$V_{AV(regd)SNSCAP}$	SNSCAP 引脚上的调节平均电压	$V_{hs}(SNSCAP)$ 和 $V_{ls}(SNSCAP)$ 的调节平均值	-	2.50	-	V
$I_{bias(max)SNSCAP}$	SNSCAP 引脚上的最大偏置电流		-245	-210	-175	μA
$V_{range}(SNSCAP)$	SNSCAP 引脚上的电压范围	高边比较器的 SNSCAP 电压范围 $V_{hs}(SNSCAP)^{\circ}$	2.35	-	4.50	V
		低边比较器的 SNSCAP 电压范围 $V_{ls}(SNSCAP)^{\circ}$	0.5	-	2.65	V
V_{acc}	电压精度	SNSCAP 比较器电压精度	-10	-	+10	mV
$\Delta V_{th}(SNSCAP)$	SNSCAP 引脚上的阈值电压值	$V_{hs}(SNSCAP) - V_{ls}(SNSCAP)$; $P_{out} = 200\%$; $V_{SNSBOOST} < 1.9\text{ V}$	3.07	3.23	3.37	V
		$V_{hs}(SNSCAP) - V_{ls}(SNSCAP)$; $P_{out} = 100\%$; $V_{SNSBOOST} = 2.5\text{ V}$	-	0.98	-	V
t_d	延迟时间	超过 V_{caph}/V_{capi} 与驱动器关闭之间的延迟; $dV/dt = 0.1\text{ V}/\mu\text{s}$	-	-	95	ns
SNSCURLLC 引脚						
$V_{bias}(SNSCURLLC)$	SNSCURLLC 引脚上的偏置电压		2.4	2.5	2.6	V

表 7. 特性 (续)

$T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$; $V_{SUPIC} = 19.5\text{ V}$; 所有电压均基于 GND 测量; 流入 IC 的电流为正电流; 除非另做说明。

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
$R_{O(SNSCURLLC)}$	SNSCURLLC 引脚上的输出电阻		-	60	-	k Ω
$V_{Imtr(ocp)}$	过流保护限压器	软启动过流限制器	0.68	0.75	0.83	V
$V_{ocp(LLC)}$	LLC 过流保护电压	正电平 $V_{SNSCURLLC} - V_{bias(SNSCURLLC)}$	1.35	1.50	1.65	V
		负电平 $V_{SNSCURLLC} - V_{bias(SNSCURLLC)}$	-1.65	-1.50	-1.35	V
$V_{reg(capm)}$	电容模式调节电平	正电平 $V_{SNSCURLLC} - V_{bias(SNSCURLLC)}$	85	100	115	mV
		负电平 $V_{SNSCURLLC} - V_{bias(SNSCURLLC)}$	-115	-100	-85	mV
$V_{det(zero)}$	零检测电压	检测为 ≥ 0	-24	-13	-1	mV
		检测为 ≤ 0	1	13	24	mV
SNSFB 引脚						
$V_{low(SNSFB)}$	SNSFB 引脚上的低电压	指示 iPowerGood = '1'; $0\text{ }\mu\text{A} < I_{opto} < 3.5\text{ mA}$ 。	0.43	0.50	0.57	V
$V_{high(SNSFB)}$	SNSFB 引脚上的高电压	指示 iPowerGood = '0'; $0\text{ }\mu\text{A} < I_{opto} < 3.5\text{ mA}$ 。	3.3	3.5	3.8	V
t_t	转换时间	PowerGood 转换时间	1.6	1.8	1.9	ms
光偏置调节器						
$I_{reg(SNSFB)}$	SNSFB 引脚上的调节电流		-90	-80	-70	μA
突发模式稳压器						
$I_{start(burst)}$	突发模式启动电流	LLC 突发模式	-110	-100	-90	μA
$I_{stop(burst)}$	突发模式停止电流		-220	-200	-180	μA
突发模式						
$f_{burst(max)}$	最大突发模式频率		720	800	880	Hz
$\bar{D}_{en(burst)}$	突发模式占空比使能	PFC 突发模式的使能; LLC 突发模式的占空比; $\Delta V_{burst(PFC)}$ 设为 '0'	-	50	-	%
$N_{cy(en)burst}$	突发模式使能周期数	PFC 突发模式的使能; LLC 突发模式的占空比; $\Delta V_{burst(PFC)}$ 设为 '0'	-	8	-	-
$\bar{D}_{dis(burst)}$	突发模式禁用占空比	PFC 突发模式的禁用; LLC 突发模式的占空比; $\Delta V_{burst(PFC)}$ 设为 '0'	-	75	-	%
$\Delta V_{burst(PFC)}$	PFC 突发模式电压差		66.5	70	73.5	mV
$t_{start(soft)burst}$	PFC 突发模式软启动时间		1.8	2.0	2.2	ms
$t_{stop(soft)burst}$	PFC 突发软停止时间		1.8	2.0	2.2	ms
LLC 时序						
$t_{on(min)LLC}$	LLC 最小导通时间		1105	1230	1355	ns

表 7. 特性 (续)

$T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$; $V_{SUPIC} = 19.5\text{ V}$; 所有电压均基于 GND 测量; 流入 IC 的电流为正电流; 除非另做说明。

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
$t_{on(max)LLC}$	LLC 最大导通时间		18.0	20.0	22.0	μs
过功率保护						
$t_{startup(max)}$	最大启动时间		90	100	110	ms
$t_{d(opp)}$	过功率保护延迟时间	opp 1	45	50	55	ms
		opp 2	450	500	550	ms
Power Good 信号特性 (引脚 SNSFB)						
t_d	延迟时间	输出后 Power Good 延迟	4.5	5	5.5	ms
		保护前 Power Good 延迟	3.6	4.0	4.4	ms
HB 引脚						
$V_{det(min)}$	最小检测电压	HB 节点检测电平	-	-	120	$\text{V}/\mu\text{s}$
$V_{det(max)}$	最大检测电压	HB 节点最大斜率检测电平	50	-	-	V/ns
$t_{no(min)}$	最小非叠加时间	低边和高边之间	243	270	297	ns
		高边和低边之间	207	230	253	ns
$t_{no(max)}$	最大非叠加时间		0.99	1.1	1.21	μs
GATELS 和 GATEHS 引脚						
$I_{source(GATELS)}$	GATELS 引脚上的源电流	$V_{GATELS} - V_{GND} = 4\text{ V}$; $V_{SUPIC} = 13\text{ V}$	-	-340	-	mA
$I_{sink(GATELS)}$	GATELS 引脚上的吸电流	$V_{GATELS} - V_{GND} = 2\text{ V}$; $V_{SUPIC} \geq 13\text{ V}$	-	580	-	mA
		$V_{GATELS} - V_{GND} = 11\text{ V}$; $V_{SUPIC} \geq 13\text{ V}$	-	2	-	A
$V_{O(min)GATELS}$	GATELS 引脚最小输出电压	$V_{SUPIC} = 9.5\text{ V}$	8	-	-	V
$I_{source(GATEHS)}$	GATEHS 引脚上的源电流	$V_{GATEHS} - V_{HB} = 4\text{ V}$	-	-340	-	mA
$I_{sink(GATEHS)}$	GATEHS 引脚上的吸电流	$V_{GATEHS} - V_{HB} = 2\text{ V}$	-	580	-	mA
		$V_{GATEHS} - V_{HB} = 11\text{ V}$	-	2	-	A
SUPHS 引脚						
$V_{rst(SUPHS)}$	SUPHS 引脚上的复位电压	$+25\text{ }^{\circ}\text{C} < T < 125\text{ }^{\circ}\text{C}$	5.5	7.2	8.2	V
GATELS 设置						
R_{set}	设置电阻	电阻 1	99	100	101	k Ω
		电阻 2	125.7	127	128.3	k Ω
		电阻 3	160.4	162	163.6	k Ω
		电阻 4	203	205	207	k Ω
系统保护						
$t_{d(restart)}$	重新启动延迟时间		0.9	1.0	1.1	s
$t_{d(flr)}$	快速锁存复位延迟时间		45	50	55	ms
I²C 通信						

表 7. 特性 (续)

$T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$; $V_{SUPIC} = 19.5\text{ V}$; 所有电压均基于 GND 测量; 流入 IC 的电流为正电流; 除非另做说明。

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
V_{IL}	低电平输入电压		0.80	-	-	V
V_{IH}	高电平输入电压		-	-	1.4	V
$I_{pd}(\text{SNSCAP})$	SNSCAP 引脚上的下拉电流		6.8	-	-	mA
过温保护						
T_{otp}	过温保护断路		120	135	150	$^{\circ}\text{C}$

12. 应用信息

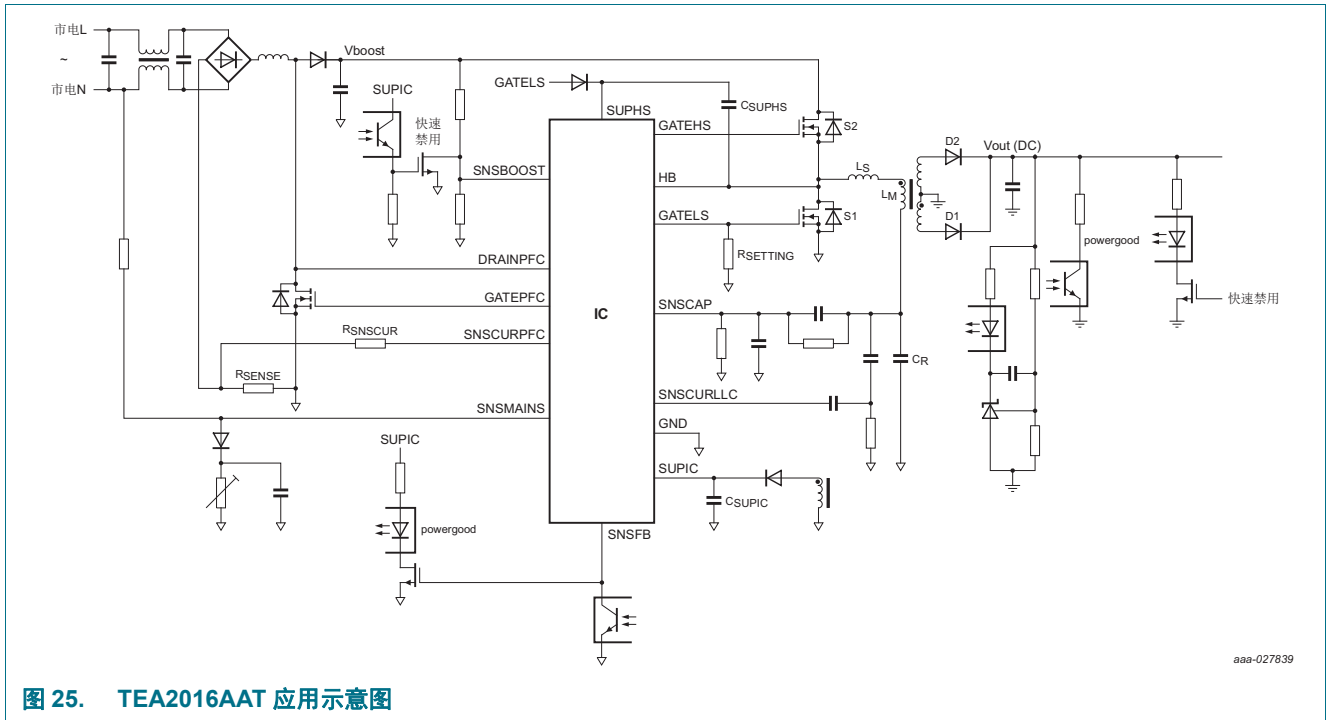
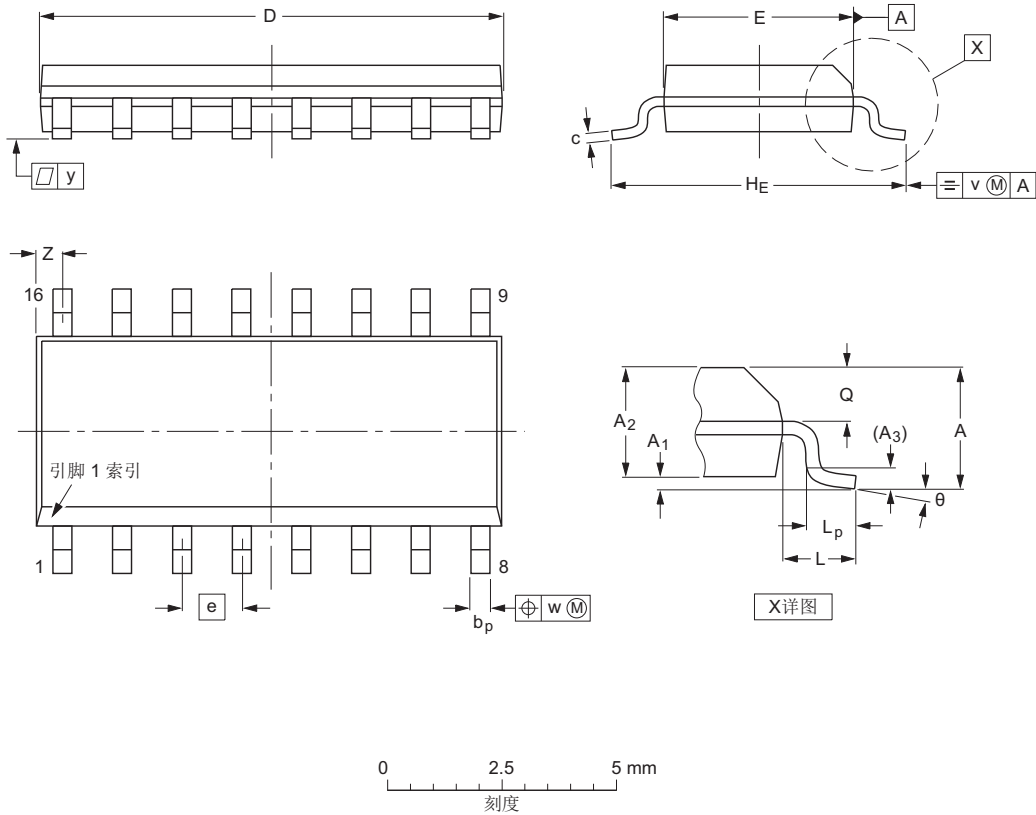


图 25. TEA2016AAT 应用示意图

13. 封装尺寸

SO16: 塑封小型封装; 16引脚; 体宽3.9 mm

SOT109-1



尺寸 (以英寸为单位的尺寸从原始mm尺寸转换而来)

单位	A (最大值)	A ₁	A ₂	A ₃	b _p	c	D ⁽¹⁾	E ⁽¹⁾	e	H _E	L	L _p	Q	v	w	y	Z ⁽¹⁾	θ
mm	1.75	0.25 0.10	1.45 1.25	0.25	0.49 0.36	0.25 0.19	10.0 9.8	4.0 3.8	1.27	6.2 5.8	1.05	1.0 0.4	0.7 0.6	0.25	0.25	0.1	0.7 0.3	8° 0°
英寸	0.069	0.010 0.004	0.057 0.049	0.01	0.019 0.014	0.0100 0.0075	0.39 0.38	0.16 0.15	0.05	0.244 0.228	0.041	0.039 0.016	0.028 0.020	0.01	0.01	0.004	0.028 0.012	

注

1. 不包括每边最大为0.15 mm (0.006英寸) 的塑料或金属突起部分。

尺寸版本	参考文献			第一角投影	发行日期
	IEC	JEDEC	JEITA		
SOT109-1	076E07	MS-012			99-12-27- 03-02-19

图 26. 封装尺寸: SOT109-1 (SO16)

14. 附录：参数设置

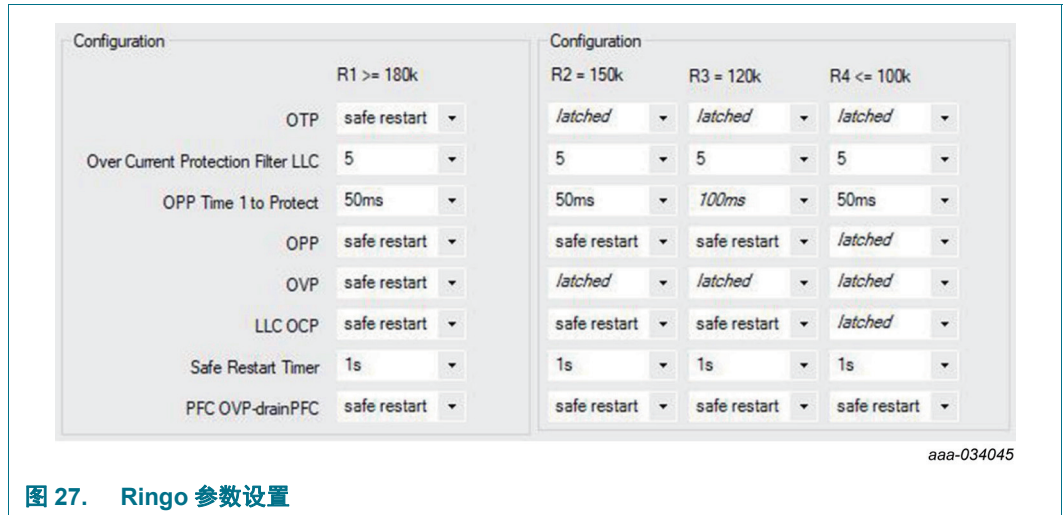


图 27. Ringo 参数设置

TEA2016AAT 数据手册附录以表格形式给出了 Ringo 参数设置 /IC 参数设置。数据手册附录可向恩智浦半导体公司索取。

15. 修订记录

表 8. 修订记录

文档 ID	发布日期	数据手册状态	更改说明	取代版本
TEA2016AAT v.1.1	20191125	产品数据手册	-	TEA2016AAT v.1
变更内容:	• 本文档已全面更新相关文字和图形。			
TEA2016AAT v.1	20190801	产品数据手册	-	-

16. 法律信息

16.1 数据手册状态

文档状态 [1][2]	产品状态 [3]	定义
客观 [缩略版] 数据手册	开发	该文档包含产品开发客观规范的数据。
初始 [缩略版] 数据手册	验证	该文档含有初始规范的数据。
产品 [缩略版] 数据手册	生产	该文档含有产品规范。

[1] 请在开始或完成设计之前查看最新发布文件。

[2] 有关“缩略版数据手册”的说明见“定义”部分。

[3] 自本文件发布以来，文件中的器件产品状态可能已发生变化；如果存在多个器件，则可能存在差异。最新产品状态信息通过互联网发布，网址为：<http://www.nxp.com>。

16.2 定义

初稿 — 本文档仅为初稿版本。内容仍在内部审查，尚未正式批准，可能会有进一步修改或补充。恩智浦半导体对本文信息的准确性或完整性不做任何说明或保证，并对因使用此信息而带来的后果不承担任何责任。

缩略版数据手册 — 缩略版数据手册是产品型号和标题完全相同的完整版数据手册的节选。缩略版数据手册仅供快速参考使用，不包括详细和完整的信息。欲了解详细、完整的信息，请查看相关的完整版数据手册，可向当地的恩智浦半导体销售办事处索取。如完整版与缩略版存在任何不一致或冲突，请以完整版为准。

产品规格 — 产品数据手册中提供的信息和数据应定义恩智浦半导体与其客户之间达成一致的产品规范，除非恩智浦半导体和客户另行达成书面协议。在任何情况下，若协议认为恩智浦半导体产品需要具有超出产品数据手册规定的功能和性能，则该协议无效。

16.3 免责声明

有限保证和责任 — 本文中的信息据信是准确和可靠的。但是，恩智浦半导体对此处所含信息的准确性或完整性不做任何明示或暗示的声明或保证，并对因使用此信息而带来的后果不承担任何责任。若文中信息并非来自恩智浦半导体，则恩智浦半导体对该信息的内容概不负责。在任何情况下，对于任何间接性、意外性、惩罚性、特殊性或后果性损害（包括但不限于利润损失、积蓄损失、业务中断、因拆卸或更换任何产品而产生的开支或返工费用），无论此等损害是否基于侵权行为（包括过失）、保证、违约或任何其他法理，恩智浦半导体均不承担任何责任。对于因任何原因给客户带来的任何损害，恩智浦半导体对本文所述产品的总计责任和累积责任仅限于恩智浦半导体商业销售条款和条件所规定的范围。

修改权利 — 恩智浦半导体保留对本文所发布的信息（包括但不限于规范和产品信息说明）随时进行修改的权利，恕不另行通知。本文档将取代并替换之前就此提供的所有信息。

适宜使用 — 恩智浦半导体产品并非设计、授权或担保适用于生命保障、生命关键或安全关键系统或设备，亦非设计、授权或担保适用于在恩智浦半导体产品失效或故障时可导致人员伤亡、死亡或严重财产或环境损害的应用。恩智浦半导体及其供应商对在此类设备或应用中加入和 / 或使用恩智浦半导体产品不承担任何责任，客户需自行承担因加入和 / 或使用恩智浦半导体产品而带来的风险。

应用 — 本档所述任何产品的应用只用于论证目的。此类应用如不经进一步测试或修改用于特定用途，恩智浦半导体对其适用性不做任何声明或保证。客户负责自行利用恩智浦半导体产品进行设计和应用，对于应用或客户产品设计，恩智浦半导体无义务提供任何协助。客户须自行负责检验恩智浦半导体的产品是否适用于其规划的应用和产品，以及是否适用于其第三方客户的规划应用和使用。客户须提供适当的设计和操作系统安全保障措施，以尽可能降低与应用和产品相关的风险。对于因客户的应用或产品中的任何缺陷或故障，或者客户的第三方客户的应用或使用导致的任何故障、损害、费用或问题，恩智浦半导体均不承担任何责任。客户负责对自己基于恩智浦半导体的产品的应用和产品进行所有必要测试，以避免这些应用和产品或者客户的第三方客户的应用或使用存在任何缺陷。恩智浦不与此相关的任何责任。

限值 — 超过一个或多个限值（如 IEC 60134 绝对最大额定值体系所规定）会给器件带来永久性损害。限值仅为强度额定值，若器件工作于这些条件下或者超过“建议工作条件部分”（若有）或者本档“特性”部分规定的条件下，则不在担保范围之内。持续或反复超过限值将对器件的质量和可靠性造成永久性、不可逆转的影响。

商业销售条款和条件 — 除非有效书面单项协议另有规定，恩智浦半导体的产品的销售遵循关于商业销售的一般条款和条件（参见<http://www.nxp.com/profile/terms>）。如果只达成了单项协议，则该协议的条款和条件适用。恩智浦半导体特此明确反对，应用客户就其购买恩智浦半导体的产品而制定的一般条款和条件。

无销售或许可要约 — 本档中的任何信息均不得被理解或解释为对承诺开放的销售产品的要约，或者授予、让与或暗示任何版权、专利或其他工业或知识产权的任何许可。

出口管制 — 本档以及此处说明的产品可能受出口法规的管制。出口可能需要事先经主管部门批准。

非汽车应用产品 — 除非本数据手册明确表示，恩智浦半导体的本特定产品适用于汽车应用，否则，均不适用于汽车应用。未根据汽车测试或应用要求进行验证或测试。对于在汽车器件或应用中包括和 / 或使用非汽车应用产品的行为，恩智浦半导体不承担任何责任。客户将产品用于设计导入以及符合汽车规范和标准的汽车应用时，客户须 (a) 使用产品但恩智浦半导体不对产品的此等汽车应用、用途和规范作任何担保；并且 (b) 若客户超越恩智浦半导体所提供规格使用汽车应用产品，须自行承担所有风险；并且 (c) 对于因客户设计以及客户超出恩智浦半导体标准担保范围和恩智浦半导体所提供规格使用汽车应用产品而导致的任何责任、损害或产品故障索赔，客户须免除恩智浦半导体的全部责任。

翻译 — 非英文（翻译）版的文档仅供参考。如翻译版与英文版存在任何差异，以英文版为准。

安全性 — 虽然恩智浦半导体实施了高级安全功能，但所有产品都可能存在尚未明确的漏洞。客户需要对其应用和产品的设计和运行负责，减少这些漏洞对客户应用和产品的影响；恩智浦半导体对发现的任何漏洞不承担任何责任。客户须实施适当的设计和操作系统安全保障措施，以尽可能降低与应用和产品相关的风险。

16.4 商标

注意：所有引用的品牌、产品名称、服务名称以及商标均为其各自所有者的资产。

GreenChip 是恩智浦的商标。

目录

1	简介	1	8.6.15	过流保护	29
2	特性和优势	2	8.6.16	最大启动时间	29
2.1	显著特性	2	8.6.17	过功率保护	30
2.2	环保特性	2	8.6.18	锁存、安全重启或安全重启后锁存	30
2.3	保护特性	2	8.6.19	快速锁存复位	31
3	应用	3	8.7	Power Good 信号功能	31
4	订购信息	3	8.8	设置	32
5	标示	3	8.8.1	常规设置	32
6	功能框图	4	8.8.1.1	保护寄存器	32
7	引脚配置信息	5	8.8.1.2	电源启动电平	32
7.1	引脚配置	5	8.8.1.3	读取锁定	32
7.2	引脚说明	5	8.8.1.4	写入锁定	32
8	功能说明	6	8.8.2	PFC 设置	32
8.1	电源电压	6	8.8.2.1	软启动时间	32
8.1.1	启动和电源电压	6	8.8.2.2	有源 X 电容器放电	32
8.1.2	高边驱动器浮动电源 (SUPHS 引脚)	8	8.8.2.3	市电测量阻抗	32
8.2	LLC 系统调节	10	8.8.2.4	突发模式: 输出电压纹波	33
8.2.1	输出功率调节环路	12	8.8.2.5	突发模式: 软启动 / 软停止时间	33
8.2.2	输出电压启动	13	8.8.3	LLC 设置	33
8.3	操作模式	14	8.8.3.1	启动	33
8.3.1	高功率模式	15	8.8.3.2	LLC 开关	33
8.3.2	低功率模式	16	8.8.3.3	反馈	34
8.3.3	突发模式	18	8.8.3.4	工作模式	34
8.3.3.1	频率调节	19	8.8.4	保护设置	35
8.3.3.2	瞬变	19	8.8.4.1	通用保护	35
8.4	光偏置调节	20	8.8.4.2	PFC 通用保护	36
8.5	功率因数校正 (PFC) 调节	21	8.8.4.3	LLC 通用保护	37
8.5.1	软启动 (SNSCUR 引脚)	21	8.8.5	Power Good 设置	38
8.5.2	t _{on} 控制	22	8.8.6	电阻设置	40
8.5.3	PFC 误差放大器 (SNSBOOST 引脚)	22	9	限值	41
8.5.4	波谷开关和消磁	22	10	热特性	42
8.5.5	频率限制	22	11	特性	43
8.5.6	市电电压补偿 (SNSMAINS 引脚)	23	12	应用信息	49
8.5.7	有效 X 电容器放电	23	13	封装尺寸	50
8.6	保护	24	14	附录: 参数设置	51
8.6.1	SUPIC 欠压保护	25	15	修订记录	52
8.6.2	MTP 失败	25	16	法律信息	53
8.6.3	内部过温保护 (OTP)	25			
8.6.4	Brownin/brownout 和外部过温保护	25			
8.6.5	短路保护 / 快速禁用	27			
8.6.6	市电掉电	27			
8.6.7	过压保护 (SNSBOOST 引脚)	27			
8.6.8	过压保护 (DRAINPFC 引脚)	27			
8.6.9	过流保护 (SNSCURPFC 引脚)	27			
8.6.10	PFC 线圈短路保护 (SNSCURPFC 引脚)	27			
8.6.11	欠压保护 SUPHS	28			
8.6.12	升压电压欠压保护	28			
8.6.13	过压保护	28			
8.6.14	电容模式调节 (CMR)	28			

注意: 关于本文档及相关产品的重要说明详见“法律信息”一节。