InnoSwitch3-AQ产品系列

适合汽车应用的内置750V/900V/1700V开关管的
恒压/恒流波谷开通DCM/CCM反激式开关IC

产品特色

高度集成，外形紧凑
- 在整个负载范围内可提供高达95%的高效性能
- 集成了多模式波谷开通DCM/CCM反激式控制器、750V、900V或1700V开关管和次级侧检测
- 内部集成FluxLink™反馈链路，可提供加强绝缘
- 提供30VDC至1200VDC以上的输入电压

EcoSmart™ – 高效节能
- 空载输入功率小于15mW

先进的保护/安全特性
- 用于输出过压和过流保护的自动重启动故障响应方式
- 精确的可设定输出过流阈值
- 输入欠压可设定

完全符合各项安规要求
- 符合ISO 26262 SEooC Class II标准
- 符合AEC-Q100标准
- 晶圆厂、组装厂和测试厂均通过IATF16949认证
- 满足IEC60664-1加强绝缘要求
- 隔离耐压>4000 V_{RMS}
- 产品100%进行HIPOT测试
- 通过UL1577绝缘强度4000VAC（最大值）、TUV (EN62368-1)和CQC (GB4943.1)安全认证。（见注释3）
- 通过EN IEC 60747-17 (VDE 0884-17)认证。
- 具有出色的噪声抗扰性，可使设计达到整套EN61000-4测试标准的A级性能要求：EN61000-4-2、4-3 (30V/m)、4-4、4-5、4-6、4-8 (100A/m)及4-9 (1000A/m)，FMC1278 (RI-115)

环保封装
- 无卤素且符合RoHS标准

支持的应用场景
汽车子系统的电源，例如牵引逆变器应急电源(EPS)、电池管理系统中的高压至低压DC/DC变换器(μDCDC)、车载充电装置和12V系统待机电源。

描述

InnoSwitch™3-AQ系列IC可大大简化汽车应用中隔离反激式功率变换器的设计和制造。InnoSwitch3-AQ产品系列将初级和次级控制器以及符合安全标准的反馈机制集成到了单个IC中，即使在非常宽的输入电压范围内，也可以实现精确的输出电压调整。

InnoSwitch3-AQ系列器件集成了多项保护特性，包括输入过压及欠压保护、输出过压及过流限制以及过温关断保护。InnoSwitch3-AQ器件能够在30V输入电压下启动，非常适合应急电源(EPS)应用。

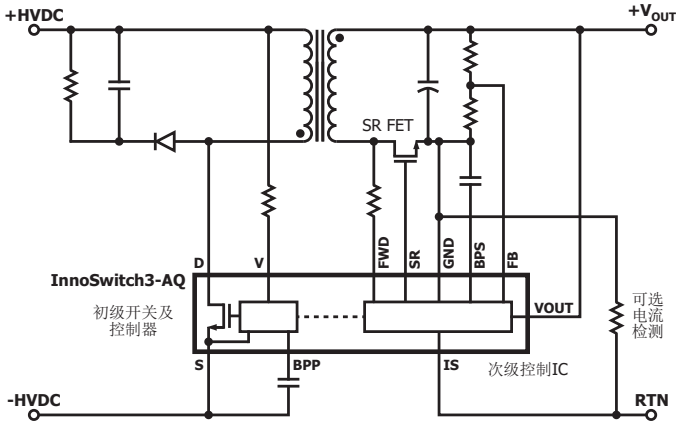


图 1. 典型应用基本原理图

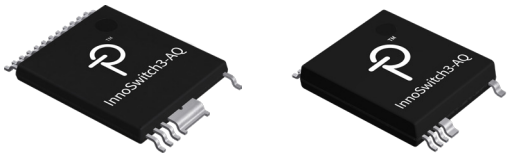


图 2. 符合安全标准的InSOP-24D和InSOP-T28G封装提供更宽的爬电距离和电气间隙

输出功率对照表

型号[2]	最大建议直流输入母线	工作电压下的输出功率(W)[1]			
750V MOSFET		30VDC	60VDC	400VDC	800VDC
INN3977CQ	520V	10	20	30	–
900V MOSFET		30VDC	60VDC	400VDC	800VDC
INN3996CQ	650V	7	14	20	–
900V PowiGaN开关管		30VDC	60VDC	400VDC	800VDC
INN3997CQ	650V	10	20	55	–
INN3999CQ	650V	10	30	85	–
INN3990CQ	650V	10	40	100	–
1700V SiC开关管		30VDC	60VDC	400VDC	800VDC
INN3947CQ	1200V	10	23	50	50
INN3949CQ	1200V	10	40	120	120
INN3947FQ	1200V	10	23	50	50
INN3949FQ	1200V	10	40	120	120

表 1. 输出功率对照表
备注：
1. 最大输出功率取决于具体设计，功率输出的计算假设塑封壳温度必须<125°C，并且设计使用适当的散热策略（例如PCB铺铜面积和/或连接外壳的导热接口）。
2. 封装：InSOP-24D和InSOP-T28G。

本产品已获得专利和/或正在申请专利之中。

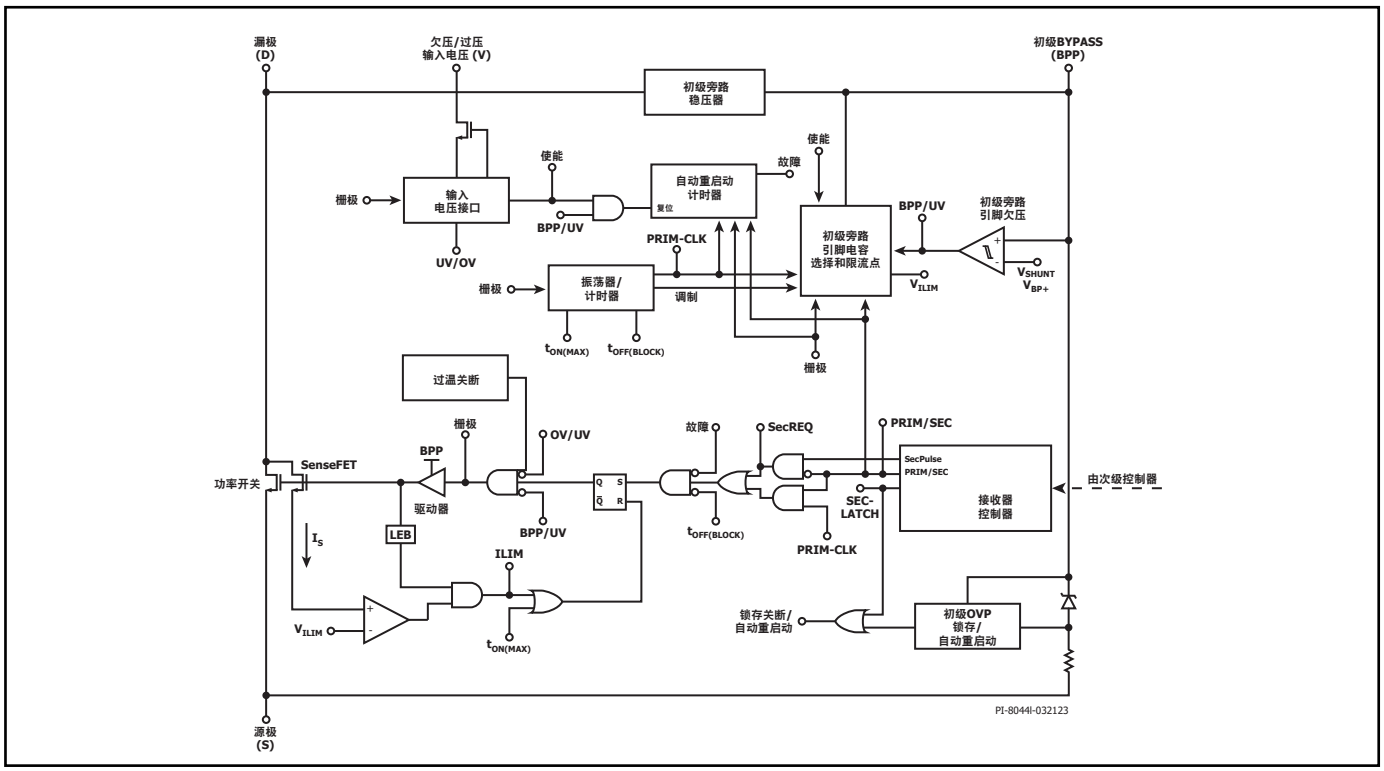


图 3. 初级控制器框图

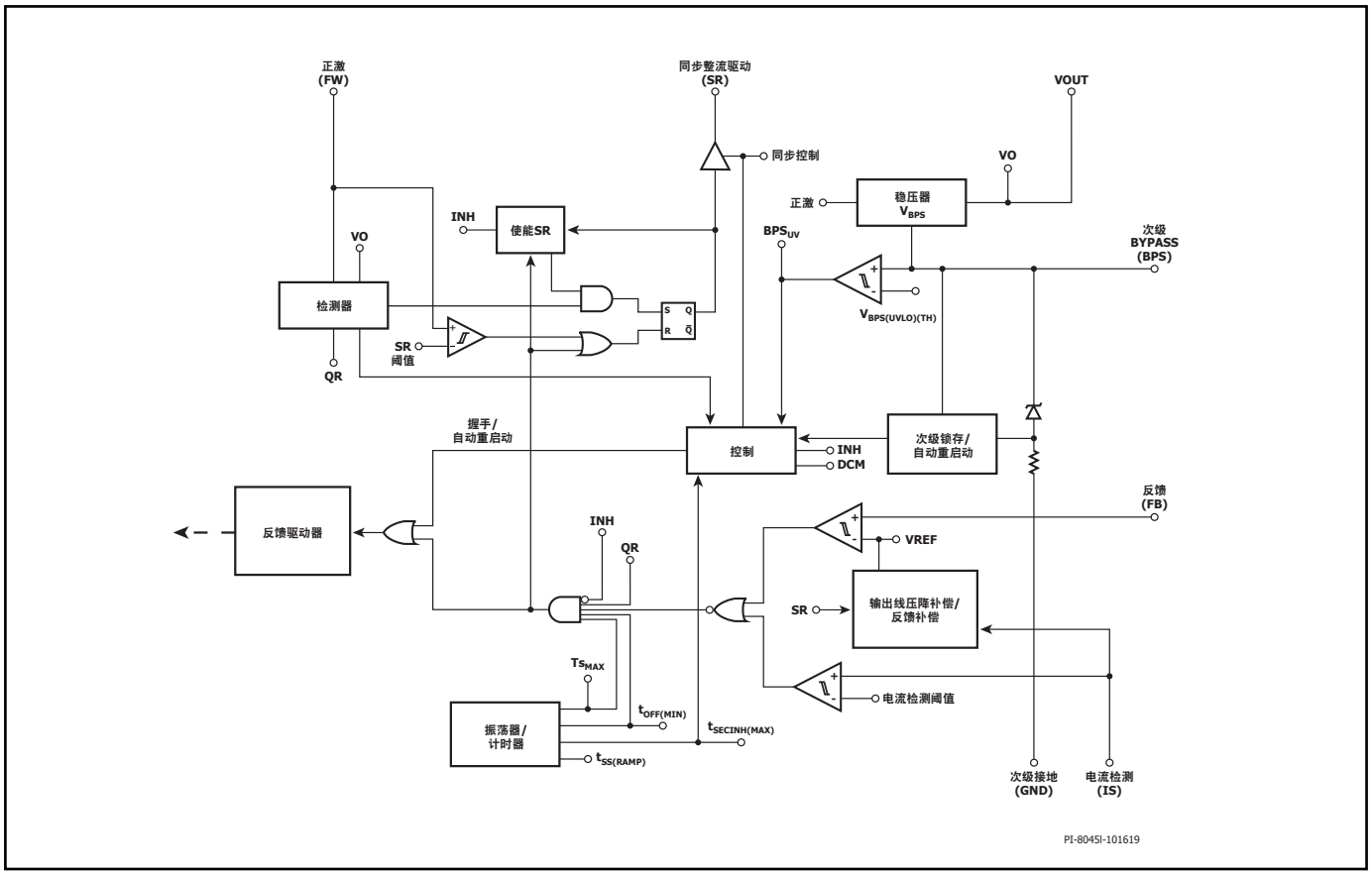


图 4. 次级控制器框图

引脚功能描述 – C封装

次级侧引脚

电流检测(IS)引脚（引脚1）
该引脚是电源输出端子的连接点。外部电流检测电阻应连接在该引脚与GND引脚之间。如果不要求电流调整/精确的过流保护，该引脚应连接至GND引脚。

次级接地(GND)引脚（引脚2）
该引脚是次级IC的接地点。请注意，由于该引脚与电流检测引脚之间连接有电流检测电阻，因此该引脚不是电源输出的接地端。

反馈(FB)引脚（引脚3）
该引脚连接到外部电阻分压器，可设定电源输出电压。

次级旁路(BPS)引脚（引脚4）
该引脚是外部旁路电容的连接点，用于为次级IC供电。

同步整流驱动(SR)引脚（引脚5）
外部SR FET的栅极驱动端。如果未使用SR FET，将该引脚连接至GND。

输出电压(VOUT)引脚（引脚6）
直接连接到输出电压，为次级侧控制器提供电流并提供次级保护。

正激(FWD)引脚（引脚7）
该引脚是变压器输出绕组开关节点的连接点，提供有关初级开关时序的信息。当VOUT低于某个阈值时，为次级侧控制器供电。

NC引脚（引脚8-12）
保持悬空。不得连接到任何其他引脚。

初级侧引脚

输入欠压/过压(V)引脚（引脚13）
该引脚是用于输入电压检测的高压引脚。提供一个或两个电流阈值（取决于器件），以仅提供输入欠压，或提供输入欠压和输入过压。该引脚也可用于实现芯片受控使能（开/关）功能。

如果不需要输入电压检测，则将V引脚连接到靠近IC封装的源极。

器件	UV	OV	$V_{V(MAX)}$
INN3977CQ	是	是	650
INN3996CQ	是	是	650
INN3997CQ/INN3999CQ/ INN3990CQ	是	是	650[1]
INN3947CQ/INN3949CQ	是	否	650

注释1：适用于启动前和启动时。（旁路引脚< VBPP）。

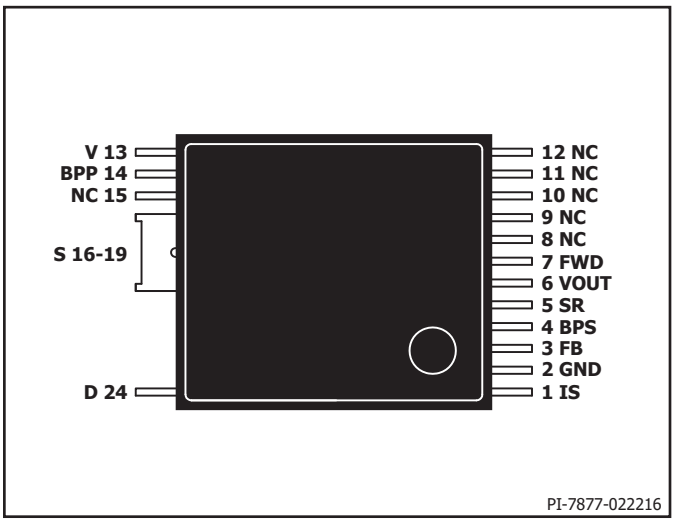


图 5.　C封装的引脚布局

INN3977CQ/INN3996CQ/INN3947CQ/INN3949CQ
为降低轻载和空载功耗，当器件开关频率低于~20Khz时，V引脚在芯片执行检测功能前处于悬空状态。当引脚悬空时，V引脚上的电压上升至输入电压，流经检测电阻的电流和相关损耗降至零。当开关频率<20kHz时，在每个开关周期之前，将引脚拉至源极，并对电流进行采样，以确定是否存在UV或OV条件。当开关频率>20kHz时，V引脚保持低电平，并持续检测电压。

如果最大输入电压可能超过$V_{V(BVDSS)}$，则应使用图15所示的电路。这将禁止OV功能(INN3977CQ)，同时使UV处于活动状态，并将V引脚钳位到~9V。更多详情，请参阅应用指南AN-106。

INN3997CQ/INN3999CQ/INN3990CQ
INN3997CQ、INN3999CQ和INN3990CQ器件在启动后不对V引脚进行采样。一旦BPP引脚电压达到V_{BPP}，V引脚电压就会被钳位到约1.5V。因此，如果启动时V引脚电压不超过$V_{V(BVDSS)}$，则无需外部钳位电路。

初级旁路(BPP)引脚（引脚14）
外部旁路电容的连接点，用于为初级侧供电。它也是ILIM选择引脚，用于选择标准I_{LIMIT}或$I_{LIMIT+1}$。

NC引脚（引脚15）
该引脚必须保持悬空并且不要与其他引脚相连。

源极(S)引脚（引脚16-19）
这些引脚是功率开关的源极和热连接点。它们也是初级旁路引脚的接地参考点。

漏极(D)引脚（引脚24）
该引脚是功率开关的漏极连接点。

引脚功能描述 – F封装

次级侧引脚

电流检测(IS)引脚（引脚1）
该引脚是电源输出端子的连接点。外部电流检测电阻应连接在该引脚与GND引脚之间。如果不要求电流调整/精确的过流保护，该引脚应连接至GND引脚。

次级接地(GND)引脚（引脚2）
该引脚是次级IC的接地点。请注意，由于该引脚与电流检测引脚之间连接有电流检测电阻，因此该引脚不是电源输出的接地端。

反馈(FB)引脚（引脚3）
该引脚连接到外部电阻分压器，可设定电源输出电压。

次级旁路(BPS)引脚（引脚4）
该引脚是外部旁路电容的连接点，用于为次级IC供电。

同步整流驱动(SR)引脚（引脚5）
外部SR FET的栅极驱动端。如果未使用SR FET，将该引脚连接至GND。

输出电压(VOUT)引脚（引脚7）
直接连接到输出电压，为次级侧控制器提供电流并提供次级保护。

正激(FWD)引脚（引脚10）
该引脚是变压器输出绕组开关节点的连接点，提供有关初级开关时序的信息。当VOUT低于某个阈值时，为次级侧控制器供电。

NC引脚（引脚6、8-9、11-14）
保持悬空。不得连接到任何其他引脚。

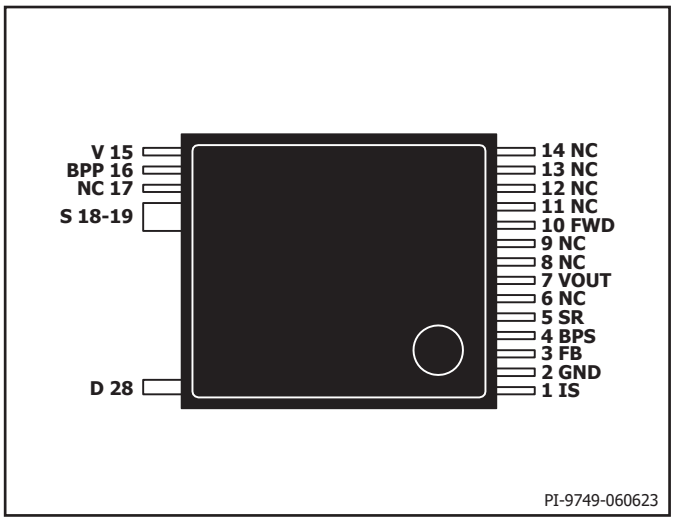


图 6.　F封装的引脚布局

初级侧引脚

输入欠压和受控使能/禁止(V)引脚（引脚15）
INN3947FQ/INN3949FQ
低压引脚用于通过电流阈值触发输入欠压和受控使能/禁止。如果引脚的最大输入电压可能超过$V_{V(BVDSS)}$ (650V)，则应使用图15所示的电路。对于F封装器件，无需采样即可持续监测V引脚电流。

初级旁路(BPP)引脚（引脚16）
外部旁路电容的连接点，用于为初级侧供电。它也是ILIM选择引脚，用于选择标准I_{LIMIT}或$I_{LIMIT+1}$。

NC引脚（引脚17）
该引脚必须保持悬空并且不要与其他引脚相连。

源极(S)引脚（引脚18-19）
这些引脚是功率开关的源极和热连接点。它们也是初级旁路引脚的接地参考点。

漏极(D)引脚（引脚28）
该引脚是功率开关的漏极连接点。

InnoSwitch3-AQ功能描述

InnoSwitch3-AQ在一个器件中集成了一个高压功率开关以及初级侧和次级侧控制器。

其架构采用一种内置由键合线和金属框架构成的创新性的磁感耦合反馈机制(FluxLink)，提供一种安全可靠且高性价比的控制方式，从次级侧控制器向初级控制器传递精确的输出电压和输出电流信息。

InnoSwitch3-AQ中的初级控制器是波谷开通(DCM)反激式控制器，它能够在连续导通模式(CCM)、临界工作模式(CrM)和断续导通模式(DCM)下工作。该控制器同时使用变频和变流控制方案。初级控制器包括抖频振荡器、磁感耦合至次级控制器的接收器电路、限流控制器、初级旁路引脚5V稳压器、轻载工作音频降噪引擎、旁路过压检测电路、限流点选择电路、过温保护、前沿消隐以及750V、900V和1700V功率开关。

InnoSwitch3-AQ次级控制器包括磁感耦合至初级接收器的发射器电路、恒压(CV)及恒流(CC)控制电路、次级旁路引脚4.4V稳压器、准谐振(QR)电路、振荡器和时钟电路以及多项集成的保护特性。

图3和图4所示为实现各种重要功能的初级及次级控制器的功能框图。

初级控制器

InnoSwitch3-AQ采用变频波谷开通控制器并支持CCM/CrM/DCM工作，可提高效率和扩大输出功率能力。

初级旁路(BPP)引脚稳压器

在功率MOSFET处于关断期间，初级旁路引脚中的内部稳压器会从漏极引脚灌入电流，将初级旁路引脚电容充电至V_{BPP}。初级旁路引脚是内部供电电压节点。当功率MOSFET导通时，器件利用储存在初级旁路引脚电容内的能量工作。

此外，当有电流通过一个外部电阻提供给初级旁路引脚时，一个分流稳压器会将初级旁路引脚电压钳位在V_{SHUNT}。这样可使InnoSwitch3-AQ通过偏置绕组从外部获得供电，可以将空载功耗降到15mW以下。

初级Bypass I_{LIMIT}设定

InnoSwitch3-AQ IC允许用户通过选择初级旁路引脚的电容值来调节限流点(I_{LIMIT})设置。该电容应使用陶瓷电容。

有2个电容大小可供选择 - 0.47µF和4.7µF，它们分别用来设定标准和升高I_{LIMIT}值。

初级旁路(BPP)欠压阈值

在稳态工作下，当初级旁路引脚电压下降到~4.5V ($V_{BPP} - V_{BPP(H)}$)以下时，初级旁路引脚欠压电路将停止功率MOSFET开关。一旦初级旁路引脚电压降到该阈值以下，它就必须升至V_{SHUNT}，才能重新使能功率MOSFET开关。

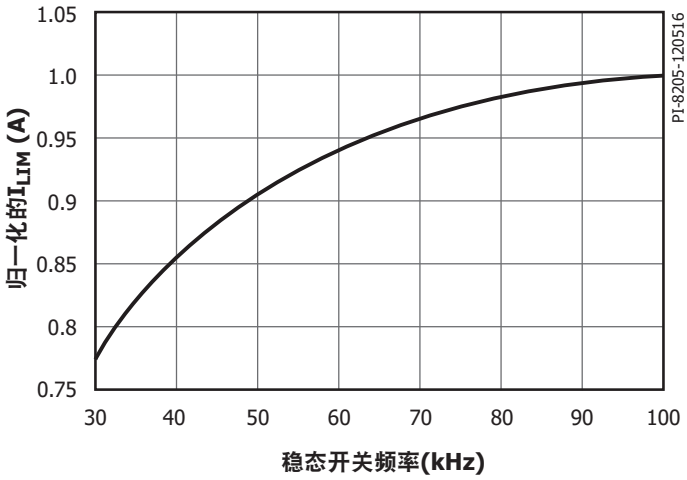


图 7. 归一化初级限流点与频率之间的关系

初级旁路(BPP)输出过压功能

初级旁路引脚具备过压保护功能。与电阻（与初级旁路引脚电容串联）并联的稳压管通常用于检测初级偏置绕组是否存在过压，以激活此保护机制。当流入初级旁路引脚的电流超过I_{SD}时，器件将禁止功率MOSFET开关进行开关，经过时间$t_{AR(OFF)}$后，控制器将重启动并尝试返回稳压状态。

输出过压保护压保护也是次级控制器的集成特性之一（参见“输出电压保护”）。

过温保护

热关断电路检测初级MOSFET结温。阈值设为T_{SD}，提供滞回响应。

如果结温度超过这个阈值，功率MOSFET开关将停止开关，直到结温度下降$T_{SD(H)}$，MOSFET才会重新使能。采用更大的滞回温度可防止因持续故障而使PCB板出现过热现象。

电流限流工作方式

初级侧控制器使得对限流阈值的控制具有斜坡的特征，可根据上一个初级开关周期结束时的时间线性递减（也即，从开关周期结束初级MOSFET关断时开始计时的时间）。

这一特性所产生的初级限流点会随着开关频率（负载）增大而增加（见图7）。

该算法可充分发挥初级开关的利用率，其好处是，该算法可在接收到反馈开关周期请求时立即对数字反馈信息作出响应。

在重载时，开关周期的最大电流接近100% I_{LIMIT}。随着负载的减小，电流可逐渐减小到最大限流点的30%。达到30%限流点时，限流点就不会继续降低（此时电流已足够小，从而避免音频噪声）。开关周期之间的时间将随着负载降低继续增大（降低频率）。

请注意，该控制器具有出色的动态负载响应特性，能够在一个开关周期内以全频降低电流以及输出功率。

调制

为降低EMI，在调制频率f_M下，归一化限流点在100%和95%之间进行调制。因此，抖频约为7kHz，平均频率约为100kHz。

自动重启动

一旦出现故障（例如，输出过载、输出短路或外部元件/引脚故障），InnoSwitch3-AQ进入自动重启动(AR)工作。

在自动重启动模式下，功率MOSFET开关被禁止时间为$t_{AR(OFF)}$。有两种方式进入自动重启动模式：

1. 持续出现高于过载检测频率f_{OVL} (~110kHz)的次级请求且时间超过82ms (t_{AR})。
2. 超过$t_{AR(SK)}$时间没有任何来自次级侧的开关周期请求。在两种故障情况下，次级将停止发送请求：
   a. 检测到未对8个连续周期的次级请求作出响应。
   b. 检测到4个连续周期的未经请求的开关。

第二种方式还包括为确认通信是否正常初级侧尝试重新启动的情况。但在正常工作时，这种情况是绝对不可能发生的。初级侧在自动重启动关断时间后重新启动即可解决此类问题。

SOA保护

如果有两个这样的连续周期，即在~565ns（消隐时间+限流点延迟时间）内达到限流点1.1 × I_{LIM}，控制器将跳过2.5个周期或~25µs（基于100kHz全频）。这可以为变压器复位提供足够的时间，同时并不会延长在大电容负载情况下电源的启动时间。

受控使能/禁止功能 INN3997CQ/INN3999CQ/INN3990CQ/INN3947FQ/INN3949FQ

InnoSwitch3-AQ具有受控的使能功能，可通过其V引脚从外部使能或禁止设备工作。当灌入V引脚的电流超过I_{OV+}时，InnoSwitch3-AQ将停止操作并进入待机模式。在待机模式下，InnoSwitch3-AQ不会进行开关。要使能，需将V引脚电流降低到I_{OV-}以下。

初级–次级握手

启动时，初级侧最初在没有任何反馈信息的情况下进行开关。

如果在自动重启动导通时间(t_{AR})期间没有收到反馈信号，初级侧将进入自动重启动模式。在正常情况下，次级控制器将通过正激引脚或从输出电压引脚上电，然后接管控制权。此后，次级侧控制开关操作。

如果初级控制器停止开关，或者在次级侧拥有控制权的正常工作情况下未对次级侧的脉冲请求作出响应时，将启动握手流程确保次级侧能够在初级侧开始再次开关时接管控制权。当次级侧检测到初级侧提供多于所要求的脉冲时，也会触发额外的握手。

最可能要求额外握手的情况是，由瞬时直流母线电压跌落事件导致的初级侧开关的停止。初级侧恢复工作后，将默认进入启动状态，并尝试检测来自次级侧的握手脉冲。

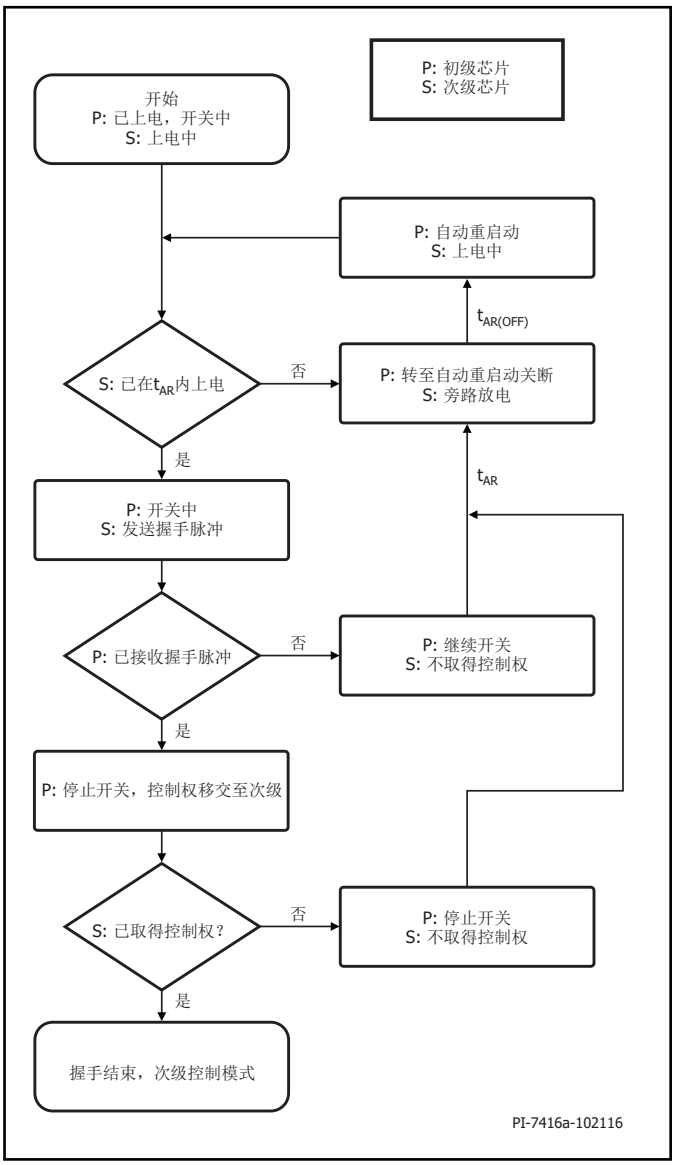


图 8. 初级-次级握手流程图

如果次级侧检测到初级侧未对8个连续周期的请求作出响应，或者如果次级侧检测到初级侧在收到4个或更多连续周期请求的情况下未进行开关，次级控制器将再次启动握手程序。这种保护模式还可以保证在次级拥有控制权而初级被复位的情况下输出不出现过压。

等待和侦听
当初级侧在从直流母线电压故障（欠压或过压）或自动重启动初次恢复上电后重新开关时，它将恢复控制并要求成功完成握手，以将控制权移交给次级控制器（跟随操作）。

作为额外的安全措施，初级侧在开关之前将暂停一段时间，时长等于自动重启动导通时间t_{AR} (~82ms)。在此“等待”期间，初级侧将“侦听”次级侧的请求。如果接收到两个间隔~30µs的连续次级侧请求，初级侧将推断次级侧正在控制，并开始响应次级请求进行开关。如果在t_{AR}“等待”期间没有握手脉冲，初级侧将开始以初级控制器的模式进行开关，直至接收到握手脉冲。

音频降噪引擎
InnoSwitch3-AQ具有主动音频降噪模式，控制器可（通过“频率跳变”工作模式）避开7kHz和12kHz之间的谐振频段（电源的机械结构最容易发生谐振的频段 – 噪声最强），对应的时间周期分别为143µs和83µs。如果自上一个导通周期起的此时间窗口内有次级控制器开关请求发出，功率MOSFET的栅极驱动将被抑制。

次级控制器

如图4中的电路框图所示，IC由4.4V (V_{BPS})稳压器供电，后者则由VOUT或FWD供电。次级旁路引脚连接至外部去耦电容，并从内部稳压电路进行馈电。

正激引脚还连接到下降沿检测电路，用于握手及时序控制。

处于输出电压引脚和次级接地引脚之间的外部电阻分压器网络的中点连接至反馈引脚，以调整输出电压。内部电压比较器参考电压为V_{FB} (1.265V)。

连接在电流检测引脚和次级接地引脚之间的外部电流检测电阻用于调整恒流工作模式下的输出电流。

最小关断时间
次级控制器利用与初级侧的感应连接来发出周期请求。次级周期请求的最大频率受到最小周期关断时间$t_{OFF(MIN)}$的限制。这是为了确保在初级侧导通后有足够的复位时间为负载提供能量。

最大开关频率
次级控制器的最大开关请求频率为f_{SREQ}。

频率软启动
启动时，初级控制器的最大开关频率限制在f_{SW}，而限流点则为对应100kHz开关请求频率下流限值的75%。

次级控制器暂时抑制反馈引脚短路保护阈值($V_{FB(OFF)}$)，直到软启动时间($t_{SS(RAMP)}$)结束为止。完成握手后，次级控制器在$t_{SS(RAMP)}$时间内将开关频率从f_{SW}线性渐升至f_{SREQ}。

如果启动时发生短路或过载，器件将直接进入CC（恒流）模式。在握手后($t_{FB(AR)}$)计时器结束之前，如果输出电压没有超过$V_{FB(AR)}$阈值，器件将进入自动重启动(AR)状态。

在$t_{FB(AR)}$时间结束时，次级控制器将使能反馈引脚短路保护模式($V_{FB(OFF)}$)。如果输出短路使反馈引脚电压维持在短路阈值以下，次级侧将停止请求脉冲，从而触发自动重启动周期。

如果输出电压在$t_{SS(RAMP)}$时间内达到稳压，将立即中止频率渐升，次级控制器可以全频工作。这样在输出达到稳压后突然出现瞬态负载变化时，可使控制器维持稳压能力。只有在准谐振检测工作时频率渐升才会被中止。

最大次级侧抑制时间
次级侧对初级侧的开关控制是有所约束的以保证工作于最大频率以下并确保最小关断时间。除了这些制约因素外，在初级开关的导通时间周期内（周期请求发出至检测到正激引脚下降沿之间的时间）也会抑制次级开关请求。开关请求之后未检测到正激引脚下降沿的最大允许时间为~30µs。

输出电压保护
当反馈引脚上的检测电压比稳压阈值高出2%时，将对输出电压引脚（弱泄放）施加~2.5mA（最大3mA）的泄放电流。当反馈引脚电压升高到超过内部反馈引脚参考电压的~10%时，该泄放电流将增加到~200mA（强泄放）。输出电压引脚的灌电流用于在发生瞬时过冲后对输出电压放电。在此工作模式期间次级不会放弃控制权。

如果反馈引脚的检测电压比稳压阈值高出20%，将指令初级侧开始自动重启操作。这种集成的V_{OUT}过压保护可独立于初级检测过压保护使用，也可以联合使用。

反馈引脚短路检测
如果反馈引脚检测电压在启动时低于$V_{FB(OFF)}$，次级控制器将完成握手，接管控制权（接管时间$t_{SS(RAMP)}$），并将停止周期请求以启动自动重启动（不向初级侧提出周期请求的时间超过$t_{AR(SK)}$即可再次触发自动重启动）。

在正常工作下，当反馈引脚电压降低到$V_{FB(OFF)}$阈值以下时，次级侧将停止向初级侧发送请求脉冲，进而触发自动重启动工作。保护模式的抗尖峰脉冲滤波持续时间小于~10µs。通过此机制，次级侧将在检测到反馈引脚对地短路后放弃控制。

自动重启动阈值
FB引脚（具有特征代码H100的输出电压引脚）包括一个比较器，用于检测输出电压降低到$V_{FB(AR)}$以下的时间是否超过$t_{FB(AR)}$。检测到该故障情况时，次级控制器将放弃控制。该阈值用于限制恒流(CC)工作的范围。

次级旁路引脚过压保护
与初级旁路引脚过压保护特性类似，InnoSwitch3-AQ次级控制器次级旁路引脚也具有过压保护特性。当次级侧接管控制时，如果注入次级旁路引脚的电流超过$I_{BPS(SD)}$ (~9mA)，次级侧将发送指令至初级侧以启动自动重启动关断时间($t_{AR(OFF)}$)。

恒流输出

InnoSwitch3-AQ通过位于电流检测引脚与次级接地引脚之间的外部电流检测电阻来调整输出电流。如果不要求输出具备恒流特性/输出电流限制，电流检测引脚必须连接至次级接地引脚。

智能波谷开通模式

为了提高变换效率和降低开关损耗，InnoSwitch3-AQ可在初级开关的电压接近其最小值时强制进行开关，此时，变换器在断续导通模式(DCM)下工作。在DCM模式下该模式自行工作，而在变换器进入连续导通模式(CCM)时该模式则自行停止。

这种工作模式不会检测初级侧的励磁振荡波谷的位置，而是使用正激引脚的峰值电压（当它超过输出电压水平时）来选通次级请求，以便初级控制器启动相应的导通周期。

次级控制器检测控制器何时进入断续导通模式，并打开与初级功率MOSFET的最小开关电压对应的次级周期请求窗口。

当检测到DCM模式后或当正激引脚电压振荡幅值(pk-pk)高于2V时，使能波谷开通(VS)模式20µs。此后，禁止进行波谷开通，此时只要有次级请求发生，初级可以在任何时刻开始开关。

次级控制器具有约1µs的消隐时间，以防止在正激引脚振荡电压低于接地电压时误检测到初级导通周期。请参见图9。

SR禁止保护

在每个周期内，SR只有在次级控制器已经发送了一个开关请求，同时在正激引脚上检测到下降沿的情况下才能工作。当电流检测引脚上的电压超过恒流阈值约3倍时，SR FET驱动将被禁止，直到浪涌电流减小到额定水平为止。

SR静态下拉

为确保在次级侧没有控制权的情况下SR栅极保持低电平，同步整流驱动引脚有常“导通”状态的器件可将引脚拉低，以降低SR栅极上由正激引脚电容耦合所导致的任何电压。

SR开路保护

为了防止发生同步整流驱动引脚开路系统故障，次级控制器提供相应保护模式，确保同步整流驱动引脚连接至外部FET。如果同步整流驱动引脚的外部电容低于100pF，器件将认为同步整流驱动引脚处于“开路”状态，因而不提供FET驱动。如果检测到引脚电容容值高于100pF，控制器将认为已连接SR FET。

如果检测到同步整流驱动引脚处于开路状态，次级控制器将停止向初级控制器发送请求脉冲，进而触发自动重启动。

如果同步整流驱动引脚在启动时已接地，将禁止SR驱动功能，同时也会禁止同步整流驱动引脚开路保护模式。

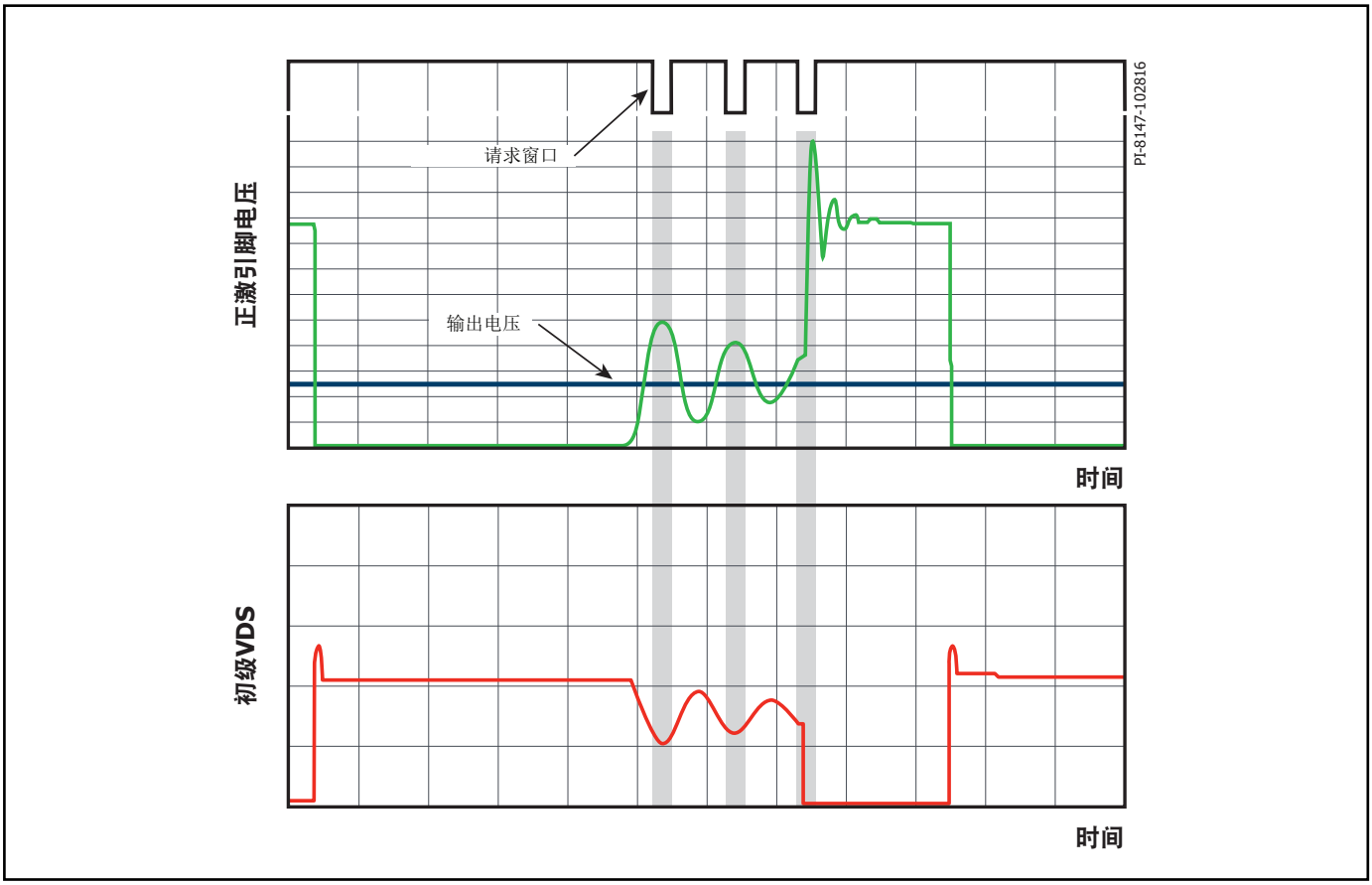


图 9.　智能准谐振模式开关工作

应用范例

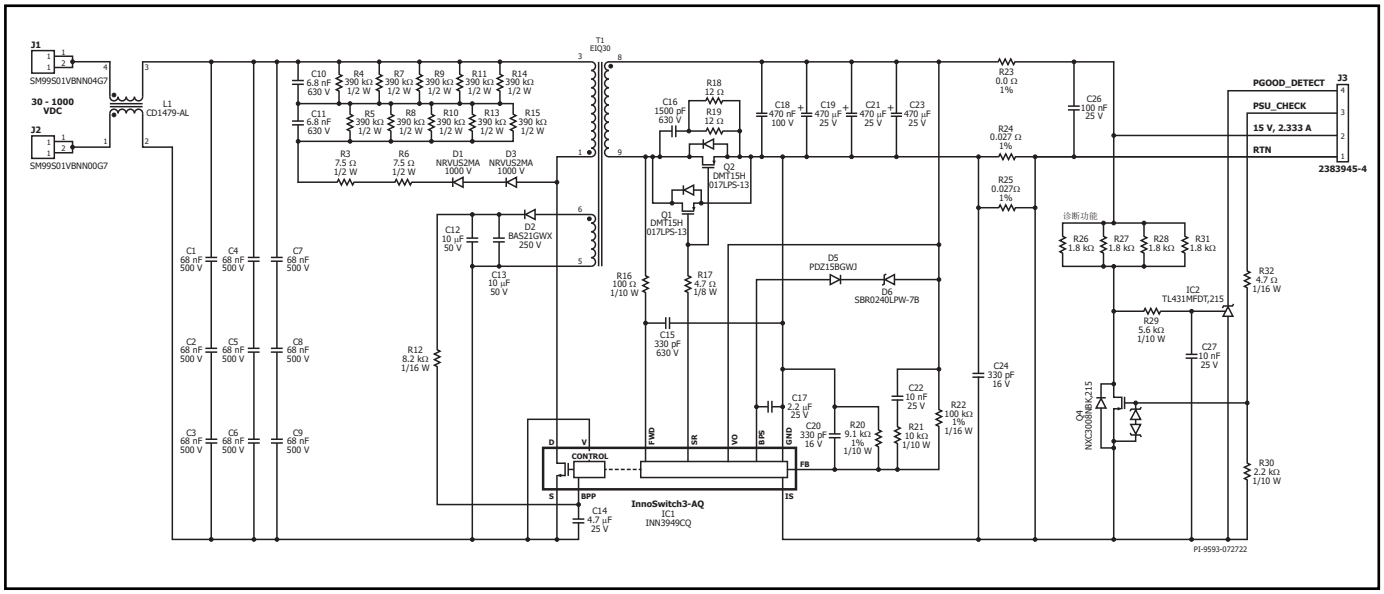


图 10.　15V、35W电源

初级侧

图10所示电路是采用INN3949CQ的满足加强绝缘、宽输入电压的15V、35W电源。这是牵引逆变器应急电源的典型示例。

输入由可选的共模扼流圈(L1)滤波。这样做是为了减少牵引逆变器工作时从直流输出流向直流输入的共模电流。

板端直流输入去耦由C1至C9提供，多个元件串联使用，以避免单点故障造成直流输入短路、满足电压降额并减少PCB焊盘上所需的爬电距离，以及方便采购，因为低压电容通常更容易获得。

初级钳位网络中的元件也采用了类似的处理逻辑，包括并联多个电阻以满足功率降额要求。

变压器初级绕组一端连接到直流母线，另一端连接到InnoSwitch3-AQ IC (U1)内置的功率开关管。D1、D3、R3-R14、C10和C11组成一个低成本RCD钳位，它可在由于变压器T1的漏感而导致的内部开关管关断的一瞬间立即对U1的峰值漏极电压进行钳位控制。

IC具有自启动功能，当首次直流输入电压上电时，它使用内部高压电流源对BPP引脚电容(C14)进行充电。在正常工作期间，初级侧控制从变压器的辅助绕组获得供电。其输出采用反激式绕组，由二极管D2和电容C13提供整流和滤波。电阻R12用于限制提供给InnoSwitch3-AQ IC (U1)的BP引脚的电流。

次级侧

INN3949CQ IC的次级侧提供输出电压、输出电流检测并驱动MOSFET提供同步整流(SR)。由R18、R19和C16组成的RC网络可抑制SR FET Q1和Q2之间的高频振荡，这种振荡产生自变压器绕组的漏感和次级走线的电感。整流输出由低ESR聚合物电容C18、C19、C21和C23进行滤波。预留电阻R23是为了在需要时添加电感，以进一步降低输出纹波。

Q1和Q2的栅极根据通过R16和IC的FWD引脚检测到的绕组电压进行导通。在连续导通模式下，功率MOSFET在次级侧向初级侧控制器请求新开关周期指令之前即会关断。在断续导通模式下，当MOSFET两端的电压降低于地电位时，MOSFET关断。对初级侧MOSFET的次级侧控制可确保它永不会与同步整流MOSFET同时导通。MOSFET驱动信号是SR引脚的输出。

IC的次级侧或者从次级正向绕组电压供电，或者由输出电压进行供电。输出电压为器件供电、馈入VO引脚并经由内部稳压器对去耦电容C17充电。电阻R20和R22组成分压器网络，用于检测输出电压，并与FB引脚上的1.265V参考电平进行比较。电容C20对可影响电源工作状况的高频噪声提供去耦；C22和R21组成前馈网络，以加快响应时间，降低输出纹波。输出电流由阈值约为35mV的R24进行检测，用以降低损耗。一旦超过该电阻的电流流检测阈值，器件将调节开关脉冲数以维持固定的输出电流。

该设计包括两个诊断功能。PSU_CHECK输入允许使能小负载（R26、27、28、31）。PGOOD_DETECT是一个低电平有效输出，表示输出备妥(>2.5V)。当为了实现冗余，该电源的输出通过冗余二极管(ORing Diode)连接到另一个电源时，PSU_CHECK输入允许系统通过监测冗余二极管之前的输出电压来确定电源是否正常工作。

设计要点

输出功率对照表

输出功率对照表（表1）列出了在以下条件下能获得的最大实际持续输出功率：

1. 所示的最小直流输入电压。
2. 效率的假定取决于功率水平。功率水平假设效率>89%。
3. 变压器初级电感量公差为±10%。
4. 最大导通损耗限制在0.8W。
5. 将器件贴装在电路板上，源极焊接在足够的铺铜区域上，并且/或者使用一个散热片将源极引脚温度控制在125°C或之下。
6. 当K_p值小于1时，K_p是初级电流脉动部分与峰值部分的比率。为防止由于开关周期的提前误关断所导致的输出功率能力下降的情况出现，建议K_p值要满足≥0.25。这可以防止导通边沿电流尖峰触发电流限制。

初级侧过压保护

InnoSwitch3-AQ IC提供的初级侧输出过压保护可由流入初级旁路引脚的阈值电流I_{SD}触发。初级旁路引脚电容除起到内部滤波的作用，还作为外部滤波器，提高噪声抗扰性。为使旁路电容达到有效的高频滤波，应将电容尽量放置在距器件源极和初级旁路引脚最近的地方。

初级检测OVP功能的实现方式是，将串联起来的稳压管、电阻和阻断二极管从经整流和滤波的偏置绕组电压端连接至初级旁路引脚。经整流和滤波的偏置绕组输出电压可能高于预期值（预期值的1.5倍或2倍），这是因为偏置绕组与输出绕组的耦合不佳，以及由此导致偏置绕组电压波形出现振荡造成的。因此建议测量偏置绕组整流电压。此测量最好在最低输入电压下和输出端负载最高时进行。此测量电压用于帮助选择实现初级检测过压保护所需的元件。建议选择这样的稳压管：其钳位电压应为输出OVP时辅助绕组电压低6V左右。可假定阻断二极管具有1V正向电压降。推荐使用小信号标准恢复二极管。阻断二极管可防止在启动时任何反向电流对偏置电容放电。最后，可计算所需串联电阻的值，以使大于I_{SD}的电流在输出过压期间流入初级旁路引脚。

降低空载功耗

InnoSwitch3-AQ IC可以在自供电模式中启动，这会从旁路引脚电容（通过内部电流源充电）吸收能量。然而，一旦InnoSwitch3-AQ IC开始开关，需要使用偏置绕组向初级旁路引脚提供供电电流。变压器上的辅助（偏置）绕组可起到这种作用。使用偏置绕组向初级旁路引脚供电后，可实现空载功耗低于15mW的电源。对图10所示的电阻R4进行调整，即可实现最低空载输入功率。

次级侧过压保护（自动重启动模式）

InnoSwitch3-AQ IC内部的自动重启动电路可以实现次级侧输出过压保护，该电路由流入次级旁路引脚的超过$I_{BPS(SD)}$阈值的输入电流触发。通过将稳压管由输出连接至次级旁路引脚可以实现直接输出检测过压保护功能。所需稳压管的稳压值为1.25 × V_{OUT}减去4.4V（次级旁路引脚电压）。所需过压保护稳压管串联一个低值电阻，可以限制流入次级旁路引脚的最大电流。

元件的选择

InnoSwitch3-AQ初级侧电路的元件

BPP电容

连接InnoSwitch3-AQ IC初级旁路引脚和GND引脚的电容可以为初级侧控制器提供去耦，还可选择限流点。可以使用0.47µF或4.7µF电容。最好使用多层陶瓷电容，因为它们能使电容靠近IC放置，并满足汽车应用的温度要求。推荐使用额定值至少为10V (0805)或更大型号的X7R介质电容，以确保满足最小电容容量要求。陶瓷电容的型号名称（例如，来自不同制造商或不同产品系列的X7R）没有相同的电压系数。建议查看相应的电容数据手册，确保所选电容在5V下的电容容量下降不会超过20%。请勿使用Y5U或Z5U/0603多层陶瓷电容(MLCC)，因为此类贴片陶瓷电容的电压和温度系数特性非常差。

INN3997CQ/INN3999CQ/INN3947CQ/INN3949CQ

为防止BPP电容开路故障时损坏IC，建议在所选的0.47µF或4.7µF电容上再并联一个100nF电容。

偏置绕组和外部偏置电路

从开关的漏极引脚连接至InnoSwitch3-AQ初级侧控制器初级旁路引脚的内部稳压器对连接初级旁路引脚的电容充电，以实现启动。变压器中的偏置绕组外加整流管和滤波电容，构成一个偏置供电电源，用于为初级旁路引脚供应至少1mA的电流。应选取合适的偏置绕组圈数，以便在最低负载条件下及在电源的最低额定输出电压下在偏置绕组能够产生7V的输出电压。如果电压低于此值，空载输入功率将增大。

当电源在最高直流输入电压下工作时，外部电路提供的偏置电流应设置为约$I_{S1(MAX)}$，这样即可实现最低的空载功耗(V_{BPP} > 5V)。推荐使用具有低结电容的标准恢复整流二极管，以避免快速或超快速二极管所具备的快速恢复特性。推荐使用一个聚合物电容或两个陶瓷电容，其容量至少为22µF，电压额定值为电容两端最高电压的1.2倍（图10中的C13和C12）。当输出电压为最高额定输出电压、输出带额定负载且输入电压为最低DC供电电压时，通常会在此电容两端产生最高的电压。

初级检测OVP（过压保护）

偏置绕组输出上产生的电压可跟踪电源输出电压。虽然不够精确，但初级侧控制器可以使用偏置绕组电压合理地检测出输出电压幅值。从偏置绕组输出连接至初级旁路引脚的稳压管可以可靠地检测到次级过压故障情况，并使初级侧控制器进入自动重启动。建议应在（满载和最低输入电压下）正常稳态情况以及瞬态负载情况下测量偏置绕组输出端的最高电压。使用额定值为该测量电压1.25倍的稳压管通常能够确保过压保护只会在故障情况下动作。

初级缓冲钳位电路

缓冲电路应用于初级侧，如图10所示。这可以防止在每个开关周期中开关关断的一瞬间在开关漏极出现过高的电压尖峰。虽然可以使用传统的RCD钳位，但RCDZ钳位的效率最高。图10中的电路示例采用电阻与钳位二极管串联的RCD钳位。该电阻可抑制漏极振荡，并对反向恢复期间通过钳位二极管反向电流加以限制。推荐使用具有低结电容的标准恢复玻璃钝化二极管，因为这些二极管能够从钳位电路回收部分能量，从而提高效率。

InnoSwitch3-AQ次级侧电路的元件

次级旁路引脚 – 去耦电容

应使用一个2.2µF、10V/X7R/0805或更大型号的多层陶瓷电容对InnoSwitch3-AQ IC的次级旁路引脚去耦。由于次级旁路引脚电压需要在输出电压达到稳压水平之前更早达到4.4V，使用过高的BPS电容值会导致启动时输出电压过冲。低于1.5µF的电容值会导致无法预测的工作情况。电容必须靠近IC引脚放置。建议使用至少10V的电压额定值，以提供足够的BPS电压裕量，并且必须使用0805电容来保证工作中的实际值，因为陶瓷电容的电容量会随着施加的直流电压而显著下降，尤其是对于小型封装SMD（例如0603）。因此，不建议使用6.3V/0603/X5U或Z5U类型的MLCC。陶瓷电容的型号名称（例如，来自不同制造商或不同产品系列的X7R）没有相同的电压系数。建议查看相应的电容数据手册，确保所选电容在4.4V下的容量下降不会超过20%。为取得最佳效果，应采用X7R介质的电容。

正激引脚电阻

推荐使用47Ω至100Ω的电阻，以确保足够的IC供电电流。电阻值过高或过低都不应使用，因为这会影响器件的工作，比如同步整流器驱动的时序。下面的图11、12、13及14所示为不可接受和可接受的正激引脚电压波形的示例。V_D是同步整流管两端的正向电压降。

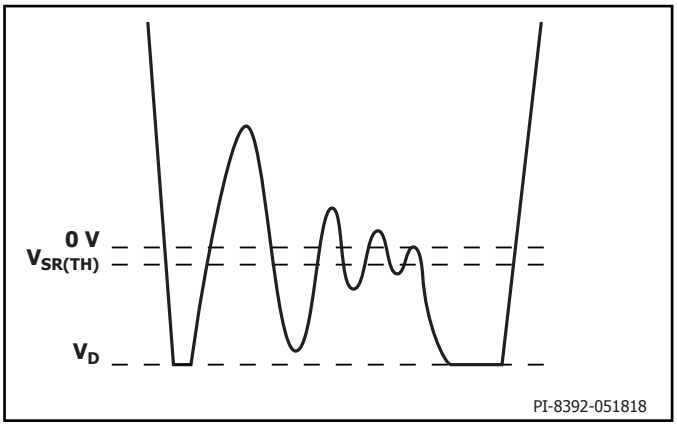


图 11. 握手后反激周期中SR开关导通期间不可接受的正激引脚电压波形

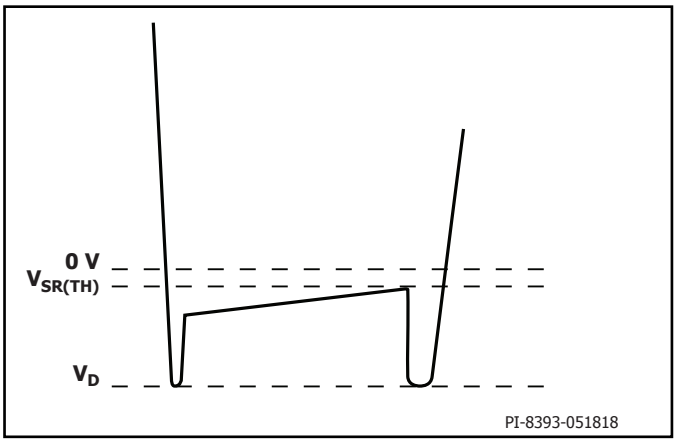


图 12. 握手后反激周期中SR开关导通期间可接受的正激引脚电压波形

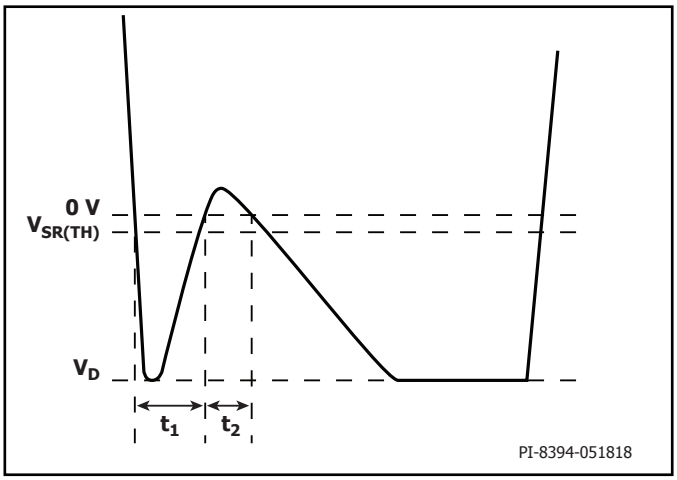


图 13. 握手前反激周期中体二极管导通期间不可接受的正激引脚电压波形

注：
如果$t_1 + t_2 = 1.5\mu s \pm 50ns$，控制器可能无法握手，并会触发初级偏置绕组过压保护锁存关断/自动重启动。

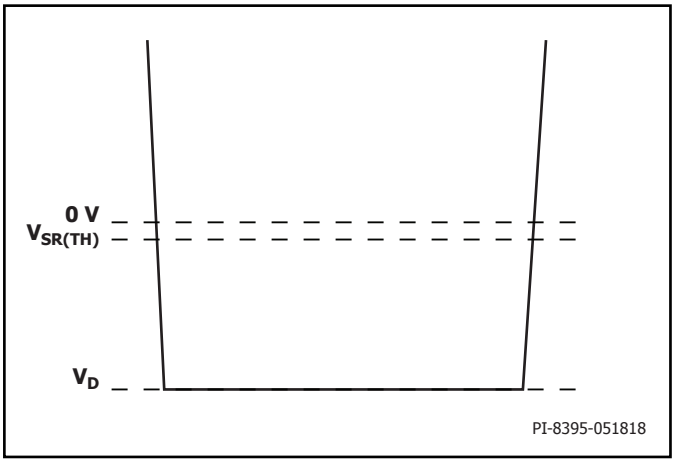


图 14. 握手前反激周期中体二极管导通期间可接受的正激引脚电压波形

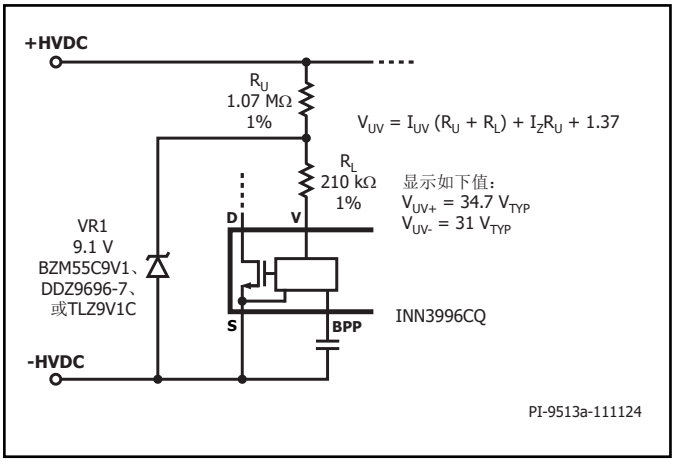


图 15. 使能UV、禁止OV并将V引脚钳位至最大额定电压以下的电路

SR开关的工作及选择

虽然使用简单的二极管整流器和滤波器足以满足输出的需要，但与更大的肖特基整流管相比，使用SR FET能显著提高工作效率，并降低损耗和元件成本。次级侧控制器在反激周期开始时立即导通SR FET。SR FET栅极应直接连接至InnoSwitch3-AQ IC的同步整流管驱动引脚（不应在SR FET栅极电路连接任何额外的电阻）。SR FET会在SR FET的电压V_{DS}达到0V时关断。SR FET驱动器使用次级旁路引脚作为供电端，该电压的典型值为4.4V。因此不太适合使用高开通阈值电压的MOSFET；开通阈值电压在1.5V至2.5V之间的MOSFET较为适合，但是也可以使用开通阈值电压（绝对最大值）高达4V的开关，只要其数据手册规定了在4.5V栅极电压下整个温度范围的$R_{DS(ON)}$数值即可。

反激周期开始与SR FET导通之间稍微有一点延迟。在此期间，SR FET的体二极管传导电流。如果使用外部并联肖特基二极管，该电流大部分都流经肖特基二极管。InnoSwitch3-AQ IC检测到反激周期结束时，SR FET $R_{DS(ON)}$两端电压达到0V，反激周期的剩余部分期间电流将换向至SR FET的体二极管或外部并联肖特基二极管。使用与SR FET并联的肖特基二极管可以提供更高效率，通常一个1A表面贴装肖特基二极管已足够满足使用需要。肖特基二极管和SR FET的电压额定值应至少为预期峰值反向电压(PIV)的1.4倍，具体取决于变压器所采用的圈数比。输出绕组的漏感与SR FET电容(C_{OSS})之间的相互作用会在绕组的电压反向（由于初级开关导通）时电压波形出现振荡。这种振荡可通过使用连接于SR FET两端的RC缓冲器进行抑制。缓冲器电阻阻值范围介于10Ω至47Ω之间（较高的电阻值会导致比较明显的效率下降）。大部分设计当中均可采用1nF至2.2nF的电容值。

输出电容

由于汽车的工作温度可低于-20°C，建议使用固态聚合物电容类型。在这种情况下，对应每安培的输出电流使用150µF至330µF的电容即可。这通常也会使输出电压纹波达到可接受的范围以内(<1%)。确保电容电压额定值高于最高输出电压且留有足够的裕量。

输出电压反馈电路

反馈引脚的输出电压为1.265V [V_{FB}]。分压器网络应连接在电源的输出端进行输出电压分压，以使反馈引脚的电压在输出电压处于所需的电压时达到1.265V。下反馈分压器电阻应连接到次级接地引脚。应将一个300pF（或更小）的去耦电容连接在反馈引脚以及InnoSwitch3-AQ IC的次级接地引脚之间。该电容的具体位置应靠近InnoSwitch3-AQ IC。

电路板布局建议

参见图16了解InnoSwitch3-AQ电源的建议电路板布局。

单点接地

在输入滤波电容与连接源极引脚的铺铜区域使用单一接地点。

旁路电容

初级旁路和次级旁路引脚电容必须分别直接靠近初级旁路-源极引脚和次级旁路-次级接地引脚放置，与这些电容的连接应采用短走线方式。

初级环路面积

连接输入滤波电容、变压器初级及IC的初级环路面积应尽可能小。

初级钳位电路

钳位电路用于限制开关在关断时漏极引脚的峰值电压。在初级绕组上使用一个RCD钳位或一个齐纳稳压管(~200V)及二极管钳位即能够实现。为改善EMI，从钳位元件到变压器再到IC的连接走线应保证最短。

温升设计要点

源极引脚都由内部连接至IC的铜制基板，是器件散热的主要途径。因此，源极引脚都应连接到IC下的铺铜区域，不但作为单点接地，还可作为散热片使用。因它连接到电位稳定的源极节点，可以将这个区域的面积扩大以使IC实现良好的散热，并且不降低EMI性能。输出SR开关也是一样，尽量增大连接封装引脚的PCB面积，以帮助SR开关散热。应在电路板上提供足够的铺铜区域，以使IC温度安全地处于绝对最大限值以下。建议铺铜区域（IC的源极引脚焊接在此）面积应足够大，以使电源在各输入电压条件、相应的最大负载和环境温度下工作时，IC温度保持在125°C以下。在PCB源极区域和壳体之间使用导热垫是降低器件温度的有效方法。

输出SR开关

为达到最佳性能，由次级绕组、输出SR开关及输出滤波电容所组成的环路区域面积应最小。

漏极节点

漏极开关节点是主要噪声源。因此，连接漏极节点的元件应靠近IC放置并远离敏感的反馈电路。钳位电路元件应远离初级旁路引脚，走线长度应尽量短。由输入整流滤波器电容、初级绕组和IC初级侧开关形成的环路的面积应尽可能的小。

布局示例

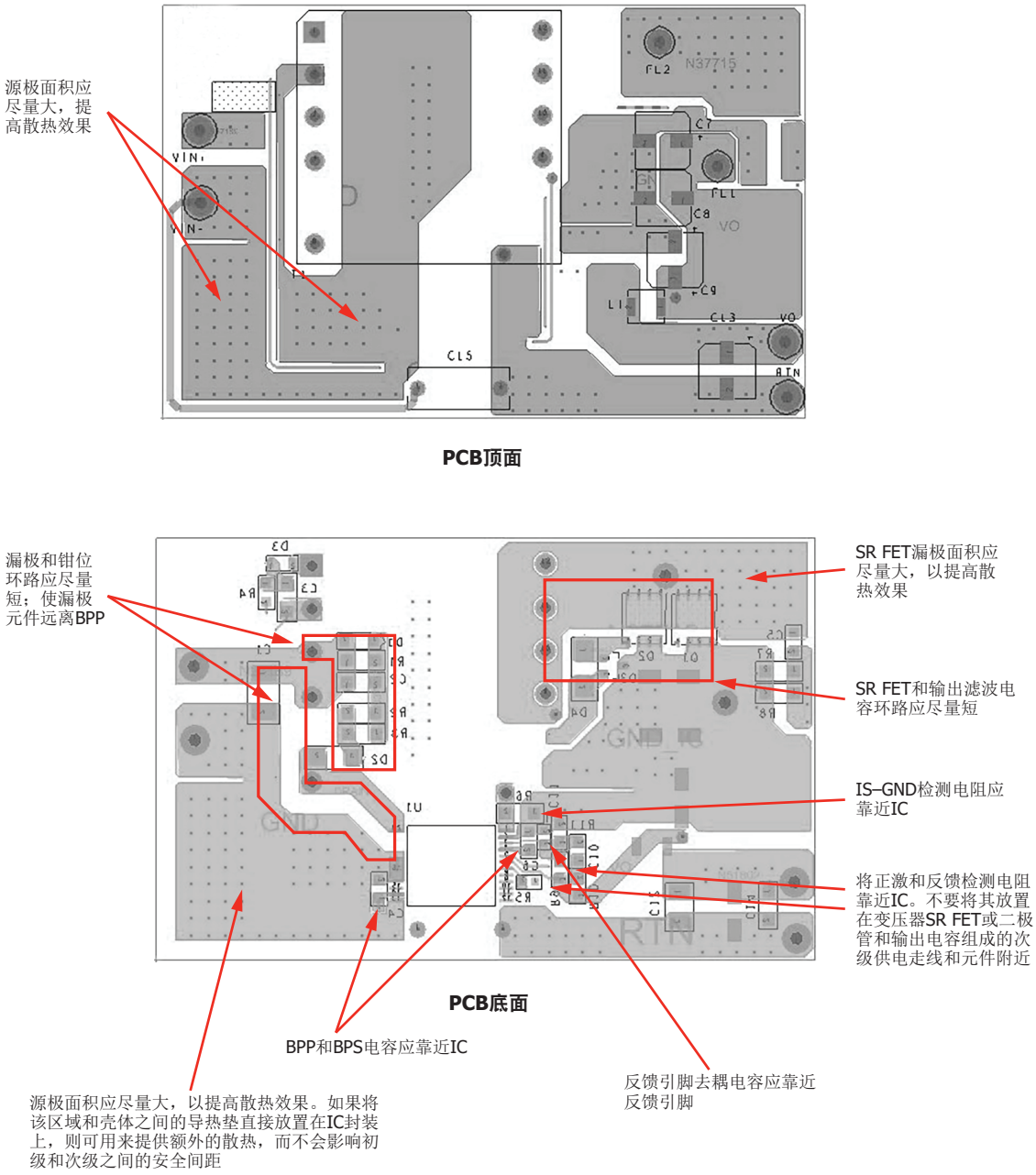


图 16. PCB设计

降低EMI的建议

1. 合理的元件位置以及初级和次级功率电路所形成的小环路面积有助于降低辐射及传导EMI。应注意确保环路面积尽量小。
2. 初级侧钳位二极管两端外加小电容有助于降低辐射EMI。
3. 与偏置绕组串联的电阻有助于降低辐射EMI。
4. 调整SR开关RC缓冲器元件值有助于降低高频辐射及传导EMI。
5. 可以在输入整流电路使用一个由差模电感和电容组成的π型滤波器，以降低低频差模EMI。
6. 电源输出端并联一个1μF陶瓷电容有助于降低辐射EMI。

变压器设计建议

变压器设计必须确保电源可在最低输入电压下提供额定功率。推荐对大部分InnoSwitch3-AQ设计采用在最低预期DC母线电压下0.9的K_P值。K_P值<1可减小初级有效值电流，从而提高变压器效率，但会导致初级侧开关产生更高的开关损耗，进而提高InnoSwitch3-AQ温度。如果K_P进一步减小，准谐振开关的优势开始减弱。

开关频率(f_{SW})

InnoSwitch3-AQ的独特特性是，设计者可以将满载开关频率设置在25kHz至95kHz的范围内。为降低温度，开关频率应设置在60kHz左右。如果使用较小的变压器，满载开关频率可以设置为最高95kHz。设置满载开关频率时，必须考虑初级电感和峰值电流公差，确保平均开关频率不超过110kHz，因为达到此值会触发自动重启动过载保护。

反射输出电压，V_{OR} (V)

该参数描述了输出二极管/同步整流管导通期间次级绕组电压对初级开关漏极电压的影响，反射输出电压是以变压器变比的比例反射到初级绕组上形成的。为充分利用QR特性和确保最平坦的输入电压/负载效率曲线，设置反射输出电压(V_{OR})时，在最小输入电压下应满足K_P = 0.8，而对于输入电压仅限于高压输入的设计应满足K_P = 1。

为达到设计优化的目的，应考虑如下因素：

1. 较高的V_{OR}允许在最低电压V_{MIN}时获得更高的输出功率，这会降低输入电容值和提高给定InnoSwitch3-AQ器件的输出功率能力。
2. 较高的V_{OR}还可以降低输出二极管和同步整流管开关的电压应力。
3. 较高的V_{OR}会增加漏感，从而降低电源效率。
4. 较高的V_{OR}会增大次级侧的峰值电流及有效值电流，从而增加次级侧的铜损和二极管损耗。
5. 为了在低(30VDC – 40VDC)输入目标下实现最大功率输出，设计的初级电感量必须小于500μH，下限由$V_{IN(MAX)}$下560ns的最小导通时间确定。

但也有一些例外情况。输出电压高于15V时，应提高V_{OR}，使输出同步整流管的反向峰值电压维持在可接受的水平。

纹波电流与峰值电流的比率，K_P

AK_P小于1表示连续导通模式，K_P为纹波电流与峰值初极电流的比值（参见图17）。

$$K_P = K_{RP} = I_R / I_P$$

K_P值大于1表示断续模式。此时，K_P是初级开关关断时间与次级二极管导通时间的比值。

$$K_P = K_{DP} = (1 – D) \times T/ t = V_{OR} \times (1 – D_{MAX}) / ((V_{MIN} – V_{DS}) \times D_{MAX})$$

推荐对大部分InnoSwitch3-AQ设计采用在最低预期DC母线电压下0.9的K_P值。K_P值<1可减小初级有效值电流，从而提高变压器效率，但会导致初级侧开关产生更高的开关损耗，进而提高InnoSwitch3-AQ温度。如果K_P进一步减小，准谐振开关的优势开始减弱。PIXIs设计表格可有效优化K_P、初级绕组电感、变压器圈数比和工作频率的选择，同时确保提供合适的设计裕量。

磁芯类型

合适磁芯的选择取决于电源外壳的物理尺寸限制。建议应仅使用低损耗磁芯以降低温升。

安全挡墙，M (mm)

要求在初级和次级之间进行隔离的设计可能需要在骨架的每一侧都有胶带挡墙。当不使用三层绝缘线或全绝缘线时，尤其可能需要满足这种要求。请参阅控制文件（规范或标准，如IEC 60664-1）和骨架数据手册，以获取有关满足指定爬电距离所需裕量的指导。

对于使用InnoSwitch3-AQ IC的紧凑变压器设计，建议应使用三层绝缘线或全绝缘线。

初级层数，L

初级绕组的层数应在1层到3层之间。一般来讲，应使用最少的层数，从而满足初级绕组的电流密度(CMA)限制。≥200圆密耳/安培的值可用作大部分设计的起始值。根据温升要求不同可采用更高的数值。大于三层的设计也是可行的，但要考虑到漏感的增加及绕线窗口高度的限制。在漏感钳位损耗非常高的设计应用中，可采用分层式初级绕组结构。此方法是将初级绕组绕在次级饶组（和偏置绕组）的两侧，以“三明治”的方式绕制。这种方式通常对小功率设计不利，因为这通常会增大共模噪声，并增加输入滤波成本。

最大工作磁通密度，B_M（高斯）

为了限制启动和输出短路时的峰值磁通密度，建议峰值器件限流点下（频率132kHz）的最大磁通密度为3800高斯。在启动及输出短路情况下输出电压很低，在开关关断期间，变压器的磁通复位不足，使得变压器的磁通密度会累积到超过正常工作时的水平。而一旦选择了具有内置保护特性的InnoSwitch3-AQ IC器件，其峰值限流点也就固定了。在此限流点的磁通密度选择3800高斯，可以保证在开机及输出短路情况下磁芯不会饱和。

变压器初级电感量(L_p)

一旦确定了最低工作输入电压、满载开关频率和所要求的V_{OR}，即可计算变压器初级电感量。PIXls设计表格可用来辅助变压器设计。

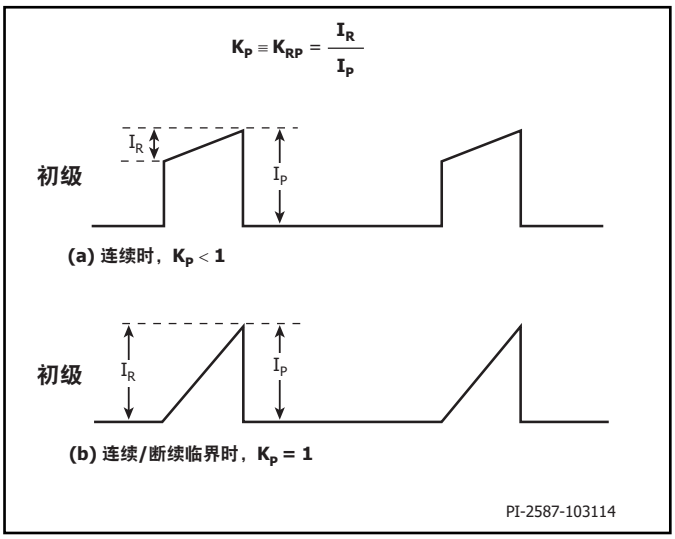


图 17. 连续导通模式电流波形，$K_p < 1$

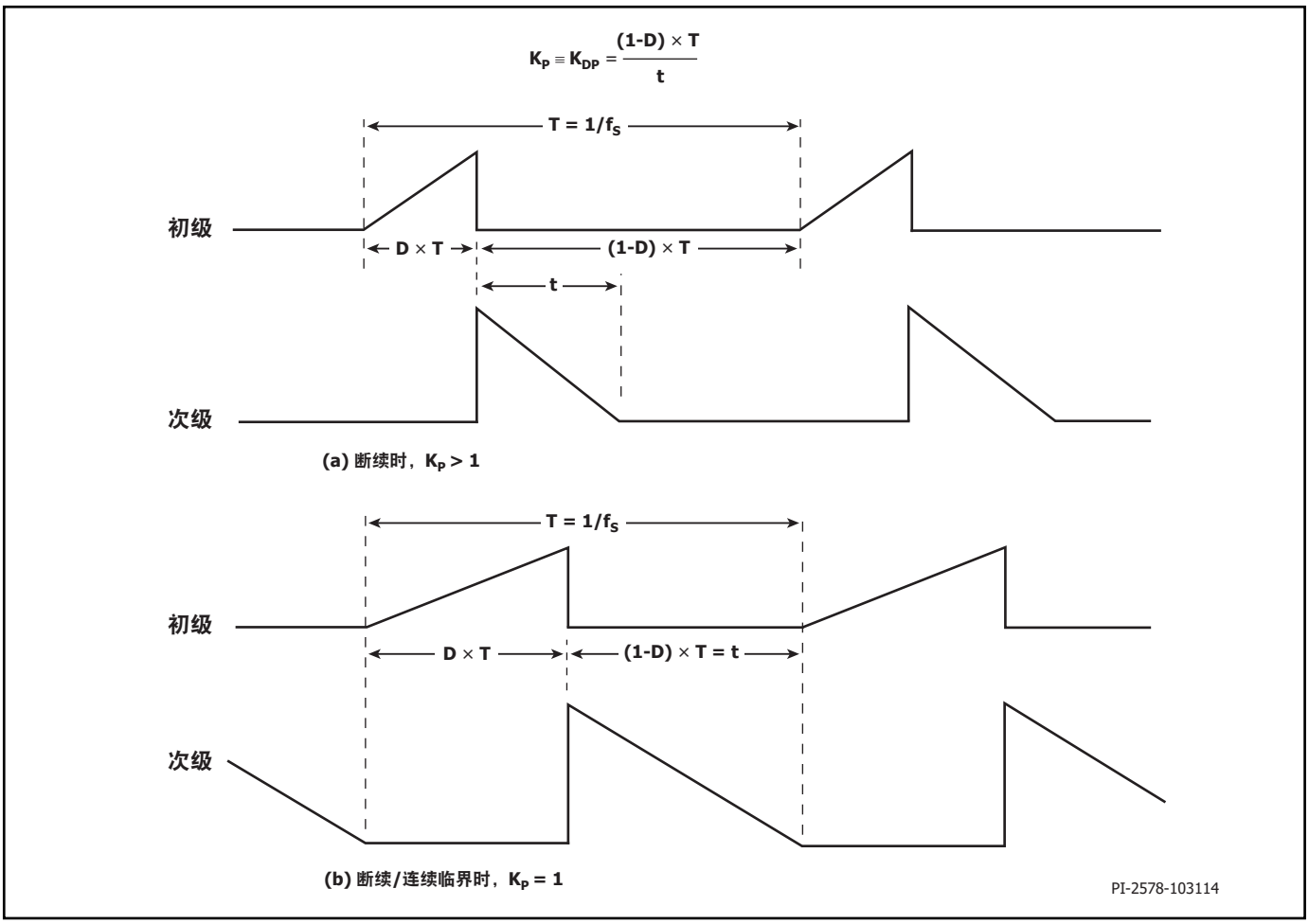


图 18. 断续导通模式电流波形，$K_p > 1$

快速设计校验

对于任何使用InnoSwitch3-AQ的电源，都应经过全面测试以确保在最差条件下元件限值没有超过规定范围。

作为最低要求，强烈建议进行如下测试：

1. 最大漏极电压 – 在正常工作和启动时，检查确认InnoSwitch3-AQ和SR FET的V_{DS}在最高输入电压和峰值（过载）输出功率下没有超过击穿电压的90%。
2. 最大漏极电流 – 在最高环境温度、最大输入电压及峰值输出（过载）功率情况下，观察启动时的漏极电流波形，检验是否出现变压器饱和的征兆和过大的前沿电流尖峰。在任何条件下，初级开关的最大漏极电流应低于规定的绝对最大额定值。在各输入电压条件下以及相应的最小和最大负载点下，验证前沿电流尖峰事件持续时间小于200ns。这是为了确保电流限流点不会被错误触发。持续时间较长表明初级电容容量过大和/或输出整流管/钳位二极管反向恢复时间过长。
3. 温升检查 – 在规定的最大输出功率、最小输入电压及最高环境温度情况下，检查InnoSwitch3-AQ IC、变压器、输出SR FET及输出电容的温度没有超标。应有足够的温度裕量以保证InnoSwitch3-AQ IC不会因为零件与零件间$R_{DS(ON)}$的差异而引起过热问题出现。

使用PowiGaN器件（INN3997CQ、INN3999CQ和INN3990CQ）时的设计注意事项

对于反激变换器设计，IC漏极引脚的典型电压波形如图19所示。

V_{OR}是次级导通时初级绕组上的反射输出电压。V_{BUS}是连接变压器初级绕组一端的直流电压。

除V_{BUS}+V_{OR}外，漏极在关断时还会出现较大的电压尖峰，这是由存储在初级绕组漏感中的能量引起的。为防止漏极电压超过额定最大连续漏极电压，初级绕组两端需要一个钳位电路。钳位二极管的正向恢复将在初级开关关断的一瞬间增加一个尖峰。

图19中的V_{CLM}是包括尖峰的复合钳位电压。初级开关的峰值漏极电压为V_{BUS}、V_{OR}与V_{CLM}的总和。

在所有正常工作条件下，都应选择V_{OR}和钳位电压V_{CLM}，以使峰值漏极电压低于725 V。这提供了足够的裕量，可确保在输入电压瞬变导致电压偶尔升高时，峰值漏极电压仍能保持在远低于900V的水平。

为充分利用波谷开通特性和确保最平坦的输入电压/负载效率曲线，设置反射输出电压(V_{OR})时，对于通用输入电压设计，在最小输入电压下应满足K_p = 0.8而对于输入电压仅限于高压输入的设计应满足K_p≥1。

为达到设计优化的目的，应考虑如下因素：

1. 较高的V_{OR}允许在最低电压V_{MIN}时获得更高的输出功率，这会降低输入电容值并增大给定的PowiGaN器件（INN3997CQ、INN3999CQ和INN3990CQ）的输出功率能力。
2. 较高的V_{OR}还可以降低输出二极管和SR FET的电压应力。
3. 较高的V_{OR}会增加漏感，从而降低电源效率。
4. 较高的V_{OR}会增大次级侧的峰值电流及有效值电流，从而增加次级侧的铜损和二极管损耗。

但也有一些例外情况。输出电流非常大时，应降低V_{OR}以获得最高效率。输出电压高于15V时，应提高V_{OR}，使输出同步整流管的反向峰值电压维持在可接受的水平。

V_{OR}的选择会影响工作效率，应谨慎选择。下表显示了实现最佳性能的典型V_{OR}范围：

输出电压	V_{OR}的最佳范围
5V	45 - 70
12V	80 - 120
15V	100 - 135
20V	120 - 150
24V	135 - 180

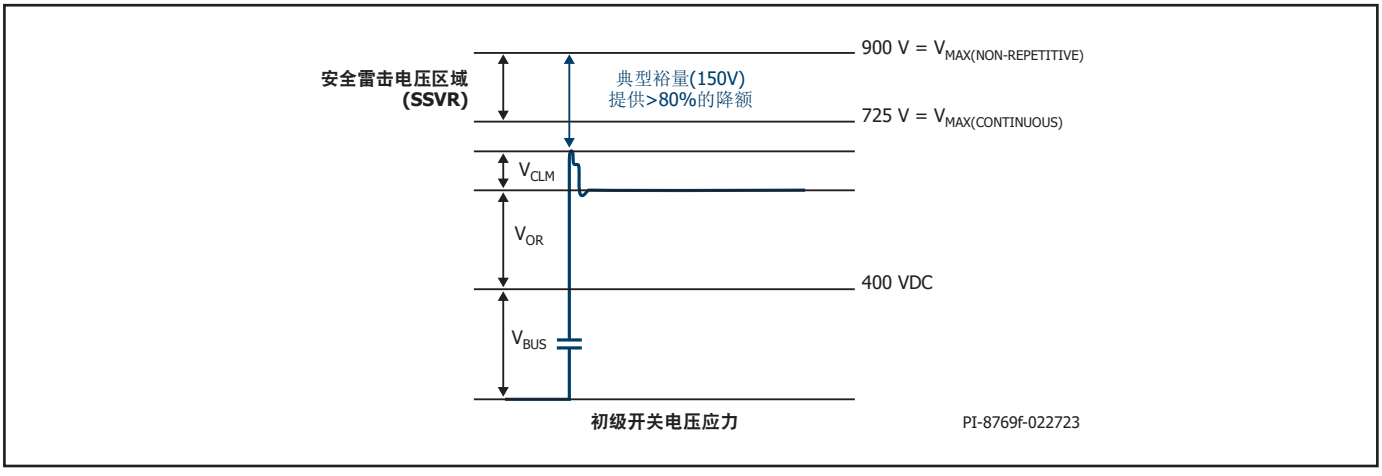


图 19. 900V PowiGaN器件在400VDC输入电压时的峰值漏极电压

绝对最大额定值[1,2]

漏极引脚电压：INN3977CQ .....-0.3V到750V
INN3996CQ .....-0.3V到900V
PowiGaN器件INN3997CQ .....-0.3V到900V[9]
PowiGaN器件INN3999CQ .....-0.3V到900V[9]
PowiGaN器件INN3990CQ .....-0.3V到900V[9]
INN3947CQ .....-0.3V到1700V
INN3949CQ .....-0.3V到1700V
INN3947FQ .....-0.3V到1700V
INN3949FQ .....-0.3V到1700V
漏极引脚峰值电流：INN3977CQ.....5.92A[3]
INN3996CQ.....5.72A[4]
PowiGaN器件INN3997CQ.....3.2A[5]
PowiGaN器件INN3999CQ.....10A[5]
PowiGaN器件INN3990CQ.....14A[5]
INN3947CQ.....5A[5]
INN3949CQ.....10A[5]
INN3947FQ..... 5 A[5]
INN3949FQ.....10A[5]
电压引脚电压：INN3977CQ .....-0.3V到650V
INN3996CQ .....-0.3V到650V
PowiGaN器件INN3997CQ.....-0.3V到650V
PowiGaN器件INN3999CQ.....-0.3V到650V
PowiGaN器件INN3990CQ.....-0.3V到650V
INN3947CQ .....-0.3V到650V
INN3949CQ .....-0.3V到650V
INN3947FQ .....-0.3V到650V
INN3949FQ .....-0.3V到650V
电压引脚电流 .....200μA[10]
BPP/BPS引脚电压 ..... -0.3V到6V
BPP/BPS引脚电流 100mA
FWD引脚电压 .....-1.5V到150V
SR、FB引脚电压 ..... -0.3V到6V
VOUT引脚电压 .....-0.3V到27V
IS引脚电压 .....-0.3V到0.3V[8]
贮存温度 ..... -65到150°C
工作结温[6] ..... -40到150°C
环境温度 ..... -40到125°C
引线温度[7] ..... 260°C

备注：
1. 所有电压都是以T_A = 25°C时的源极和次级接地端为参考点。
2. 在短时间内施加器件允许的最大额定值不会引起产品永久性的损坏。但长时间用在器件允许的最大额定值时，会对产品的可靠性造成影响。
3. 有关最大允许电压和电流的对应关系，请参见图20。
4. 有关最大允许电压和电流的对应关系，请参见图27。
5. 有关最大允许电压和电流的对应关系，请参见图图35和40。
6. 通常由内部电路控制。
7. 在距壳体1/16英寸处测量，持续时间5秒。
8. 小于500μs的绝对最大电压为3V。
9. PowiGaN器件：
最大连续漏极电压 ..... -0.3V到725V
最大漏极电压（非重复脉冲） ..... -0.3V到900V
10. 仅限INN3947CQ、INN3949CQ、INN3947FQ、INN3949FQ、INN3997CQ、INN3999CQ INN3990CQ。

热阻

热阻：
INN3977CQ、INN3996CQ、INN3997CQ、INN3999CQ和INN3990CQ
(θ_{JA}) .....76°C/W[1]，65°C/W[2]
(θ_{JC}) .....8°C/W[3]
INN3947CQ
(θ_{JA}) .....92°C/W[1]，64°C/W[2]
(θ_{JC}) ..... 19°C/W[3]
INN3949CQ
(θ_{JA}) .....76°C/W[1]，70°C/W[2]
(θ_{JC}) ..... 11°C/W[3]
INN3947FQ
(θ_{JA}) .....74°C/W[1]，68°C/W[2]
(θ_{JC}) ..... 13°C/W[3]
INN3949FQ
(θ_{JA}) .....56°C/W[1]，52°C/W[2]
(θ_{JC}) ..... 9.5°C/W[3]

备注：
1. 焊在0.36平方英寸(232mm²)、2盎司(610g/m²)铺铜区域。
2. 焊在1平方英寸(645mm²)、2盎司(610g/m²)铺铜区域。
3. 壳体温度在塑封体顶部测量。

参数	符号	条件 源极 = 0V T_J = -40°C到125°C （除非另有说明）		最小值	典型值	最大值	单位
控制功能							
启动开关频率	f_{SW}	T_J = 25°C		23	25	27	kHz
				20.5		28.5	
调制频率	f_M	f_{SW} = 100kHz T_J = 25°C		0.8	1.25	1.7	kHz
最大导通时间	$t_{ON(MAX)}$		T_J = 25°C	12.4	14.6	16.9	μs
				11.75		17.75	
		INN3947FQ/INN3949FQ	T_J = 25°C	12.2	14.6	16.9	
				11.75		17.75	
BPP供电电流	I_{S1}	INN3977CQ、INN3996CQ， V_{BPP} = V_{BPP} + 0.1V （开关管停止开关）	T_J = 25°C	145	200	425	μA
				130		489	
		INN3947CQ、INN3949CQ V_{BPP} = V_{BPP} + 0.1V （开关管停止开关）	T_J = 25°C	145	266	425	
				130		489	
		INN3947FQ、INN3949FQ V_{BPP} = V_{BPP} + 0.1V （开关管停止开关）	T_J = 25°C	145	266	425	
				130		489	
		INN3997CQ、INN3999CQ、INN3990CQ V_{BPP} = V_{BPP} + 0.1V （开关管停止开关）	T_J = 25°C	145	266	425	
				130		489	
	I_{S2}	INN3977CQ V_{BPP} = V_{BPP} + 0.1V （器件开关频率132kHz）	T_J = 25°C	0.9	1.20	1.73	mA
				0.85		2.00	
		INN3996CQ V_{BPP} = V_{BPP} + 0.1V （器件开关频率132kHz）	T_J = 25°C	0.7	0.9	1.35	mA
				0.63		1.5	
		INN3997CQ V_{BPP} = V_{BPP} + 0.1V （器件开关频率132kHz）	T_J = 25°C	0.93	1.24	1.79	mA
				0.8		1.9	
		INN3999CQ V_{BPP} = V_{BPP} + 0.1V （器件开关频率132kHz）	T_J = 25°C	1.7	1.95	2.5	mA
				1.6		2.6	
		INN3990CQ V_{BPP} = V_{BPP} + 0.1V （器件开关频率132kHz）	T_J = 25°C	1.7	1.95	2.5	mA
				1.6		2.6	
		INN3947CQ V_{BPP} = V_{BPP} + 0.1V （器件开关频率132kHz）	T_J = 25°C	0.93	1.25	1.8	mA
				0.8		1.9	
		INN3949CQ V_{BPP} = V_{BPP} + 0.1V （器件开关频率132kHz）	T_J = 25°C	1.46	1.95	2.81	mA
				1.26		3.0	
		INN3947FQ V_{BPP} = V_{BPP} + 0.1V （器件开关频率132kHz）	T_J = 25°C	0.93	1.25	1.8	mA
				0.8		1.9	
		INN3949FQ V_{BPP} = V_{BPP} + 0.1V （器件开关频率132kHz）	T_J = 25°C	1.46	1.95	2.81	mA
				1.26		3.0	

参数	符号	条件 源极 = 0V T_J = -40°C到125°C （除非另有说明）			最小值	典型值	最大值	单位
控制功能（续上）								
BPP引脚充电电流	I_{CH1}	V_{DS} = 30VDC	V_{BP} = 0V	T_J = 25°C	-1.75	-1.35	-0.88	mA
	I_{CH2}		V_{BP} = 4V	T_J = 25°C	-5.98	-4.65	-3.32	
BPP引脚电压	V_{BPP}				4.65	4.90	5.2	V
BPP引脚电压滞回	$V_{BPP(H)}$	T_J = 25°C				0.39		V
BPP分流电压	V_{SHUNT}	I_{BPP} = 2mA			5.15	5.36	5.65	V
		INN3947FQ/ INN3949FQ		I_{BPP} = 2 mA	5	5.36	5.65	
BPP上电复位阈值电压	$V_{BPP(RESET)}$	T_J = 25°C			2.8	3.15	3.5	V
					2.1		4.13	
电路保护								
标准限流点(BPP)电容 = 0.47 µF，见注释C	I_{LIMIT}	INN3977CQ di/dt = 300mA/µs		T_J = 25°C	1233	1326	1419	mA
					1167		1485	
		INN3996CQ di/dt = 238mA/µs		T_J = 25°C	1162	1250	1338	
					1100		1400	
		INN3997CQ di/dt = 325mA/µs		T_J = 25°C	1209	1300	1392	
					1144		1456	
		INN3999CQ di/dt = 425mA/µs		T_J = 25°C	1767	1900	2033	
					1672		2128	
		INN3990CQ di/dt = 525mA/µs		T_J = 25°C	2139	2300	2461	
					2024		2576	
		INN3947CQ di/dt = 300mA/µs		T_J = 25°C	1488	1600	1712	
					1440		1760	
		INN3949CQ di/dt = 425mA/µs		T_J = 25°C	1767	1900	2033	
					1710		2090	
		INN3947FQ di/dt = 300mA/µs		T_J = 25°C	1488	1600	1712	
					1408		1792	
		INN3949FQ di/dt = 425mA/µs		T_J = 25°C	1767	1900	2033	
					1672		2128	
升高限流点(BPP)电容 = 4.7 µF，见注释C	$I_{LIMIT+1}$	INN3977CQ di/dt = 300mA/µs		T_J = 25°C	1385	1523	1662	mA
					1341		1705	
		INN3996CQ di/dt = 238mA/µs		T_J = 25°C	1319	1450	1581	
					1275		1625	
		INN3997CQ di/dt = 325mA/µs		T_J = 25°C	1343	1460	1577	
					1284		1636	
		INN3999CQ di/dt = 425mA/µs		T_J = 25°C	1980	2130	2279	
					1874		2386	
		INN3990CQ di/dt = 525mA/µs		T_J = 25°C	2395	2576	2756	
					2266		2886	

参数	符号	条件 源极 = 0V T_J = -40°C到125°C （除非另有说明）		最小值	典型值	最大值	单位
电路保护（续上）							
升高限流点(BPP)电容 = 4.7 µF，见注释C	$I_{LIMIT+1}$	INN3947CQ di/dt = 300mA/µs	T_J = 25°C	1674	1800	1926	mA
				1620		1980	
		INN3949CQ di/dt = 425mA/µs	T_J = 25°C	1980	2130	2279	
				1917		2343	
		INN3947FQ di/dt = 300mA/µs	T_J = 25°C	1674	1800	1926	
				1584		2016	
		INN3949FQ di/dt = 425mA/µs	T_J = 25°C	1980	2130	2279	
				1874		2385	
前沿消隐时间	t_{LEB}	T_J = 25°C 见注释B			200		ns
限流点延迟时间	t_{ILD}	T_J = 25°C 见注释B			120		ns
SOA触发计时器	t_{SOA}	INN3947FQ/ INN3949FQ				520	ns
过载检测频率	f_{OVL}	T_J = 25°C 见注释A		102	110	118	kHz
		INN3947FQ/ INN3949FQ	T_J = 25°C 见注释A	101	110	118	
旁路引脚自动重启动关断阈值电流	I_{SD}	T_J = 25°C		6	8.9	11.3	mA
				5.2		12	
自动重启动导通时间	t_{AR}	T_J = 25°C		75	82	89	ms
自动重启动触发跳频时间	$t_{AR(SK)}$	见注释A	T_J = 25°C		1.3		s
自动重启动关断时间	$t_{AR(OFF)}$	T_J = 25°C		1.7		2.11	s
		INN3947FQ/ INN3949FQ	T_J = 25°C	1.7		2.15	
短自动重启动关断时间	$t_{AR(OFF)SH}$	T_J = 25°C 见注释B			0.2		s
INN3977CQ和INN3996CQ的输入电压故障保护							
电压引脚输入过压抗尖峰脉冲滤波	t_{OV+}	见注释B			3		µs
电压引脚电压额定值	$V_{V(BVDSS)}$	T_J = 25°C		650			V
UV/OV引脚电压缓升阈值	I_{UV+}	T_J = 25°C		23.9	26.1	28.2	µA
				22.1		30.4	
UV/OV引脚电压跌落阈值	I_{UV-}	T_J = 25°C		21.5	23.7	25.5	µA
				19.7		27	
电压跌落延迟时间	t_{UV-}	T_J = 25°C			32		ms

参数	符号	条件 源极 = 0V T_J = -40°C到125°C （除非另有说明）	最小值	典型值	最大值	单位
INN3977CQ和INN3996CQ的输入电压故障保护（续上）						
UV/OV引脚输入过压阈值	I_{OV+}	T_J = 25°C	100	115	122	μA
			98		127	
UV/OV引脚输入过压滞回	$I_{OV(H)}$	T_J = 25°C	6	7	8	μA
			5		9.5	
INN3947CQ和INN3949CQ的输入电压故障保护						
电压引脚电压额定值	$V_{V(BVDSS)}$	T_J = 25°C	100			V
UV/OV引脚电压缓升阈值	I_{UV+}	T_J = 25°C	22.4	24.4	26.7	μA
			21.4		27.7	
UV/OV引脚电压跌落阈值	I_{UV-}	T_J = 25°C	19	21.6	23.5	μA
			19		24.5	
电压跌落延迟时间	t_{UV-}	T_J = 25°C	29.7	35	40.5	ms
INN3997CQ、INN3999CQ和INN3990CQ的输入电压故障保护						
受控禁止抗尖峰脉冲滤波	t_{OV+}	见注释B		3		μs
UV/OV引脚输入过压阈值	I_{OV+}	T_J = 25°C	110	115	122	μA
			98		127	
UV/OV引脚输入过压滞回	$I_{OV(H)}$	T_J = 25°C	6	8	9	μA
			5		10	
UV/OV引脚电压缓升阈值	I_{UV+}	T_J = 25°C	23.9	26.1	28.2	μA
			22.1		30.4	
UV/OV引脚电压跌落阈值	I_{UV-}	T_J = 25°C	21	23.7	25.5	μA
			19.7		27	
电压跌落延迟时间	t_{UV-}			32		ms
INN3947FQ和INN3949FQ的输入电压故障保护						
电压引脚电压额定值	$V_{V(BVDSS)}$	T_J = 25°C	100			V
UV/OV引脚电压缓升阈值	I_{UV+}	T_J = 25°C	23.5	26.1	28.2	μA
			22.1		30.4	
UV/OV引脚电压跌落阈值	I_{UV-}	T_J = 25°C	20.7	23.7	25.5	μA
			19.5		27	
电压跌落延迟时间	t_{UV-}	T_J = 25°C	28	35	40.5	ms
			25		44.4	

参数	符号	条件 源极 = 0V T_J = -40°C到125°C （除非另有说明）		最小值	典型值	最大值	单位
INN3947FQ和INN3949FQ的输入电压故障保护（续上）							
UV/OV引脚输入过压阈值	I_{OV+}	T_J = 25°C	110	115	122	μA	
			98		127		
UV/OV引脚输入过压滞回	$I_{OV(H)}$	T_J = 25°C	6	8	9	μA	
			5		10		
输出							
导通电阻	$R_{DS(ON)}$	INN3977CQ $I_D = I_{LIMIT+1}$	T_J = 25°C		1.20	1.38	Ω
			T_J = 125°C		1.86	2.30	
		INN3996CQ $I_D = I_{LIMIT+1}$	T_J = 25°C		2.35	2.8	
			T_J = 125°C		3.4	4.5	
		INN3997CQ $I_D = I_{LIMIT+1}$	T_J = 25°C		0.97	1.56	
			T_J = 125°C		1.6	2.38	
		INN3999CQ $I_D = I_{LIMIT+1}$	T_J = 25°C		0.35	0.44	
			T_J = 125°C		0.49	0.7	
		INN3990CQ $I_D = I_{LIMIT+1}$	T_J = 25°C		0.29	0.39	
			T_J = 125°C		0.41	0.61	
		INN3947CQ $I_D = I_{LIMIT+1}$	T_J = 25°C		1.2	1.53	
			T_J = 125°C		2.2	3.12	
		INN3949CQ $I_D = I_{LIMIT+1}$	T_J = 25°C		0.45	0.62	
			T_J = 125°C		0.77	1.1	
		INN3947FQ $I_D = I_{LIMIT+1}$	T_J = 25°C		1.2	1.53	
			T_J = 125°C		2.2	3.12	
		INN3949FQ $I_D = I_{LIMIT+1}$	T_J = 25°C		0.45	0.62	
			T_J = 125°C		0.77	1.1	
关断状态漏极漏电流	I_{DSS1}	$V_{BPP} = V_{BPP}$ + 0.1V V_{DS} = 80% BV_{DSS}				200	μA
			INN3947FQ			50	
			INN3949FQ			70	
击穿电压	BV_{DSS}	T_J = 25°C	INN3977CQ	750			V
			INN3996CQ INN3997CQ INN3999CQ INN3990CQ	900			
			INN3947CQ、 INN3947FQ	1700			
			INN3949CQ、 INN3949FQ	1700			
漏极供电电压		见注释A		30			V
过温关断	T_{SD}	见注释A	INN3947FQ INN3949FQ	135	142	145	°C
					142		

参数	符号	条件 源极 = 0V T_J = -40°C到125°C （除非另有说明）		最小值	典型值	最大值	单位
次级							
反馈引脚电压	V_{FB}	T_J = 25°C		1.235	1.265	1.29	V
				1.215		1.31	
		INN3947FQ/ INN3949FQ	T_J = 25°C	1.235	1.265	1.29	
				1.215		1.313	
最大开关频率	f_{SREQ}	T_J = 25°C		118	132	145	kHz
反馈引脚自动重启动阈值	$V_{FB(AR)}$				90		%
		见注释D			3.45		V
输出电压引脚自动重启动计时器	$t_{FB(AR)}$	T_J = 25°C			49.5		ms
空载时的BPS引脚电流	I_{SNL}	T_J = 25°C			280	485	µA
BPS引脚电压	V_{BPS}			4.20	4.40	4.60	V
BPS引脚欠压阈值	$V_{BPS(UVLO)(TH)}$			3.60	3.80	4.00	V
BPS引脚欠压滞回	$V_{BPS(UVLO)(H)}$				0.65		V
限流电压阈值	$I_{SV(TH)}$	由外部电阻设置		33.94		38	mV
FWD引脚击穿电压	V_{FWD}			150			V
最小关断时间	$t_{OFF(MIN)}$			2.48	3.38	4.37	µs
软启动频率渐升时间	$t_{SS(RAMP)}$	T_J = 25°C		7.5	11.75	19	ms
		INN3947FQ/ INN3949FQ	T_J = 25°C	7.2	11.75	19	
BPS引脚自动重启动关断阈值电流	$I_{BPS(SD)}$	V_{BPS} = V_{BPS} + 0.1V 开关管停止开关		5.2	8.9	12	mA
反馈引脚短路	$V_{FB(OFF)}$	T_J = 25°C				135	mV

参数	符号	条件 源极 = 0V T_J = -40°C到125°C （除非另有说明）		最小值	典型值	最大值	单位
同步整流管@ T_J = 25°C							
SR引脚驱动电压	V_{SR}	T_J = 25°C		4.2	4.4	4.6	V
SR引脚电压阈值	$V_{SR(TH)}$	T_J = 25°C			-3.3	0	mV
SR引脚上拉电流	$I_{SR(PU)}$	T_J = 25°C		135	165	195	mA
		T_J = -40°C到125°C		100	165	230	
SR引脚下拉电流	$I_{SR(PD)}$	T_J = 25°C		260	298	336	mA
		T_J = -40°C到125°C		186	298	435	
上升时间	t_R	T_J = 25°C C_{LOAD} = 2nF	10-90% 见注释B		40		ns
下降时间	t_F	T_J = 25°C C_{LOAD} = 2nF	10-90% 见注释B		15		ns
输出上拉电阻	R_{PU}	V_{BPS} = 4.4V I_{SR} = 10mA	T_J = 25°C	7.2	8.5	9.6	Ω
			T_J = -40°C到125°C	5	8.5	12.42	
输出下拉电阻	R_{PD}	V_{BPS} = 4.4V I_{SR} = 10mA	T_J = 25°C	3.52	3.95	4.39	Ω
			T_J = -40°C到125°C	2.35	3.95	6.72	

注释：

A. 此参数依据实际特性得到。

B. 此参数由设计决定。

C. 为确保获得正确的电流限流值，建议使用0.47µF/4.7µF标称值的电容。此外，BPP电容值的公差应与实际应用环境温度范围内要求的公差相等或更高。电容值必须介于表征法中规定的最小及最大电容值之间。

D. 有关可选电源特征，请参阅“特征代码表”（第37页）。

BPP引脚额定电容值	与额定电容值相关的公差	
	最小值	最大值
0.47µF	-60%	+100%
4.7µF	-50%	+100%

典型性能曲线

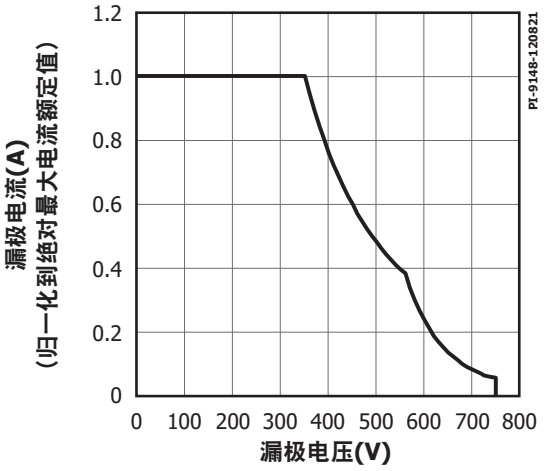


图 20. 最大容许漏极电流相对于漏极电压的变化(INN3977CQ)

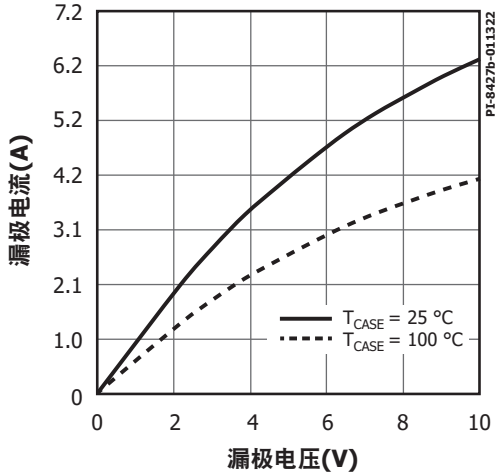


图 21. 输出特性(INN3977CQ)

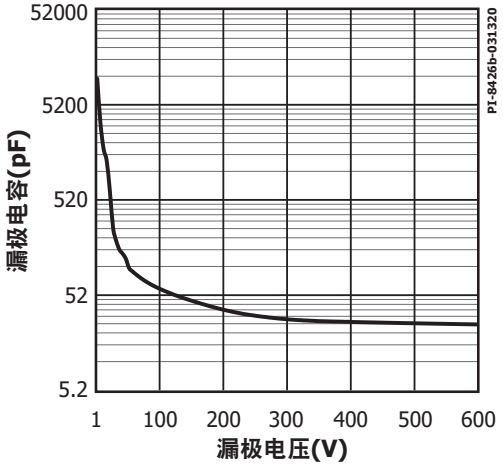


图 22. C_{OSS}相对于漏极电压的变化(INN3977CQ)

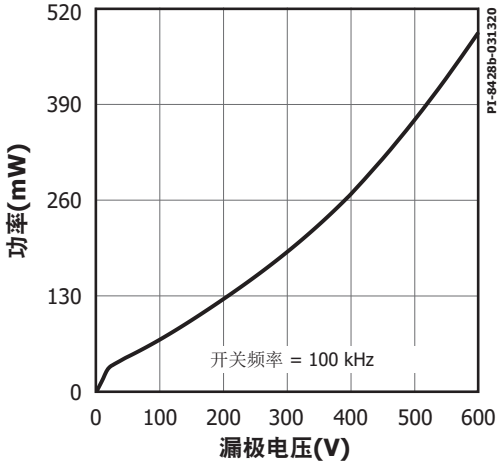


图 23. 漏极电容功率(INN3977CQ)

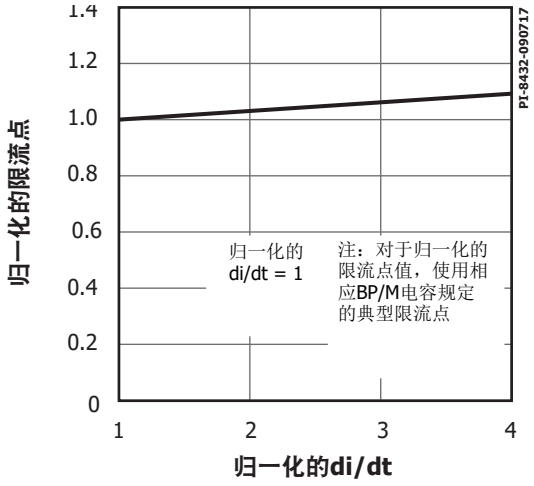


图 24. 标准限流点相对于di/dt的变化

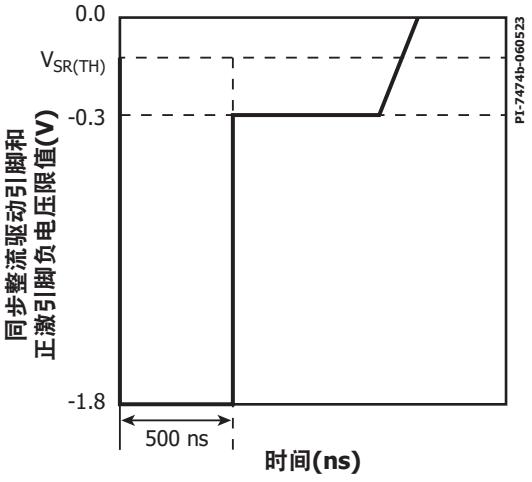


图 25. 同步整流管驱动引脚和正激引脚负电压限值

典型性能曲线

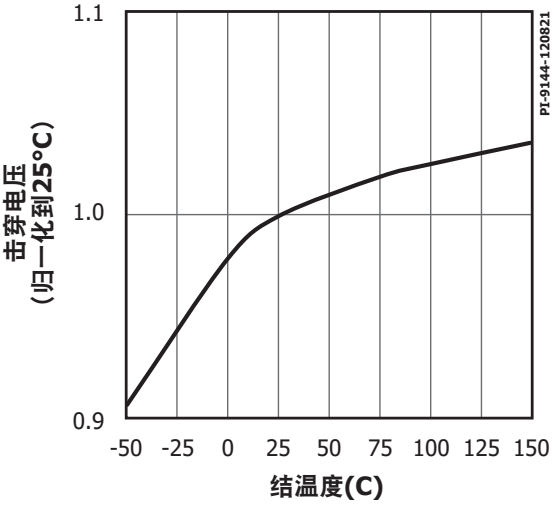


图 26. 击穿电压相对于温度的变化(INN3977CQ)

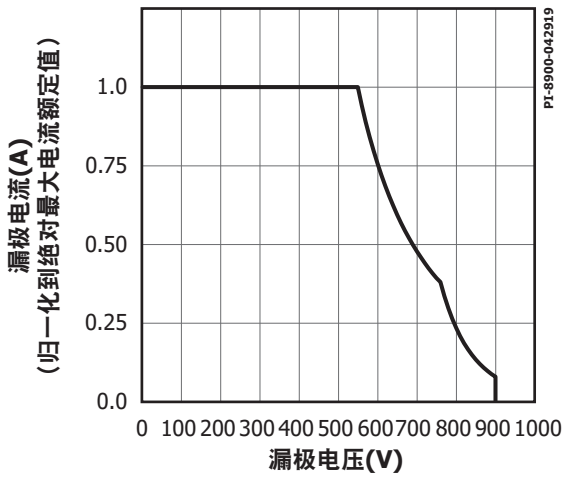


图 27. 最大容许漏极电流相对于漏极电压的变化(INN3996CQ)

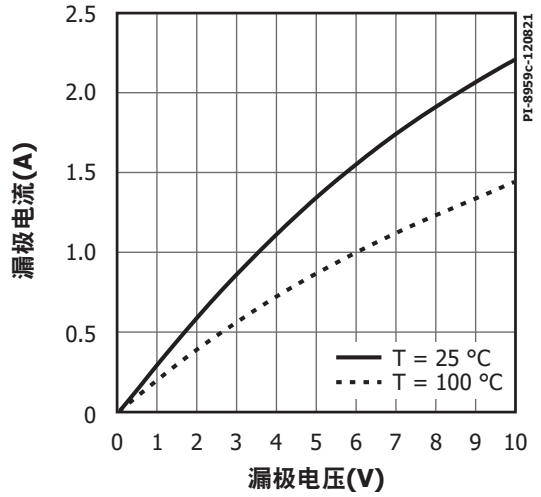


图 28. 输出特性(INN3996CQ)

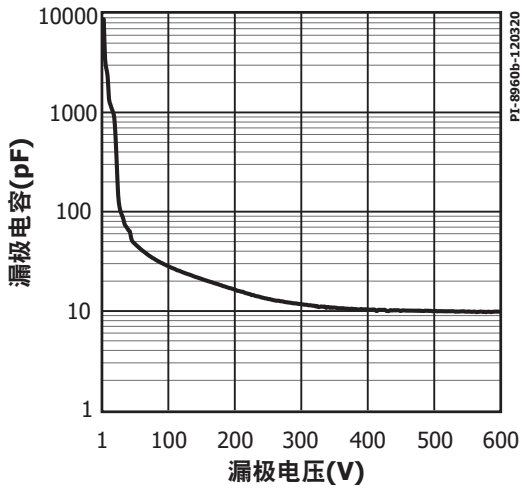


图 29. C_{OSS}相对于漏极电压的变化(INN3996CQ)

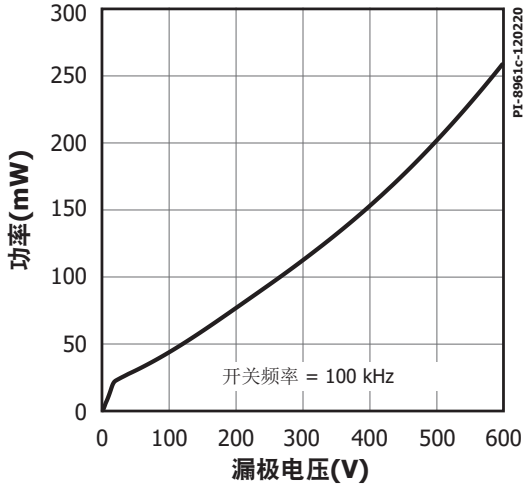


图 30. 漏极电容功率(INN3996CQ)

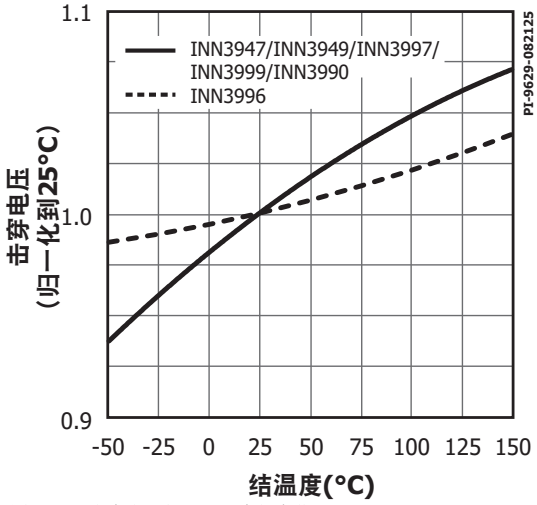


图 31. 击穿电压相对于温度的变化

典型性能曲线

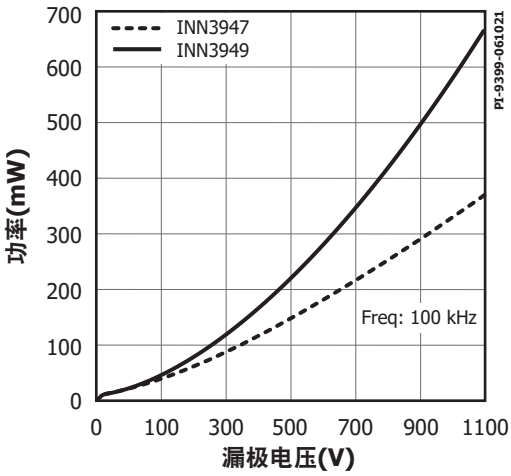


图 32. 漏极电容功率

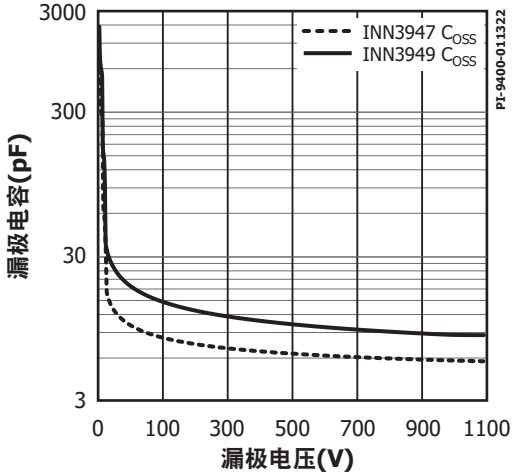


图 33. C_{OSS}相对于漏极电压的变化

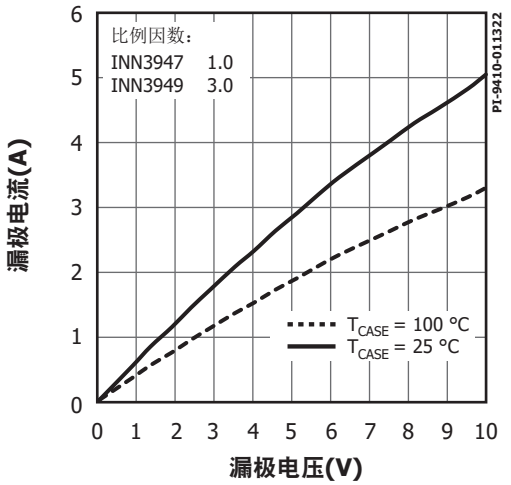


图 34. 输出特性

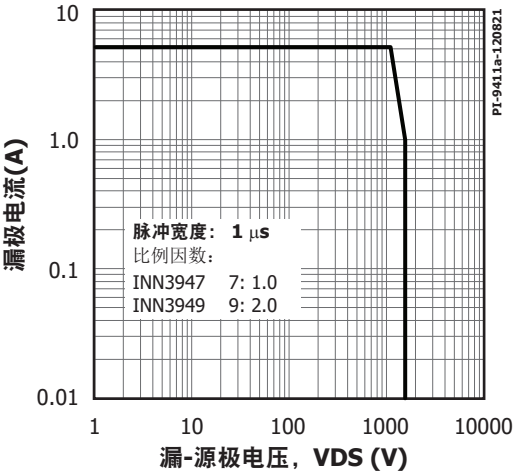


图 35. 最大容许漏极电流相对于漏极电压的变化

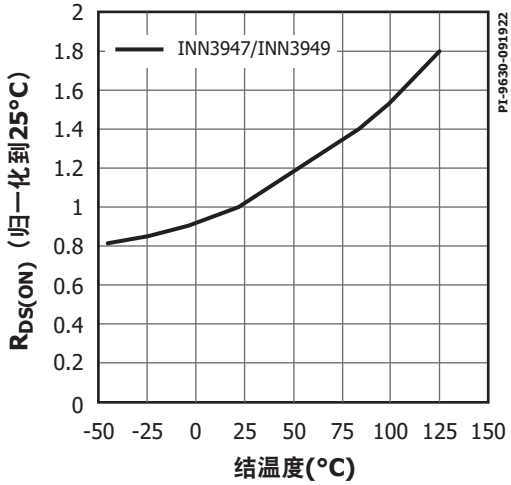


图 36. $R_{DS(ON)}$相对于温度的变化(INN3947/INN3949)

典型性能曲线

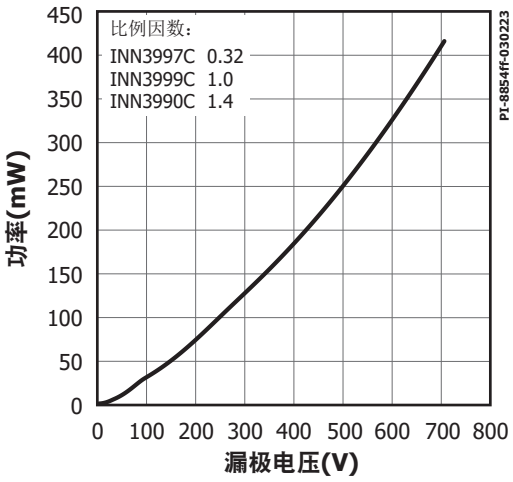


图 37. 漏极电容功率

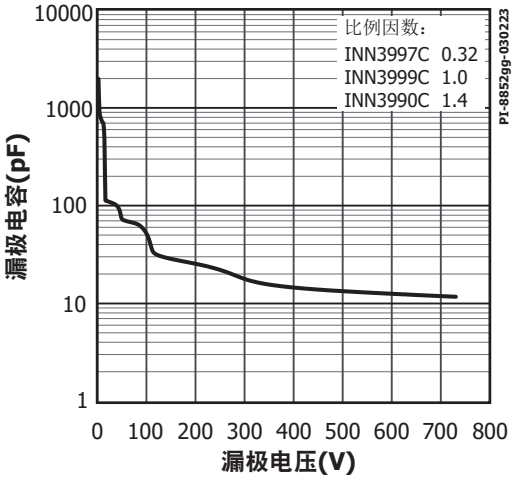


图 38. C_{OSS}相对于漏极电压的变化

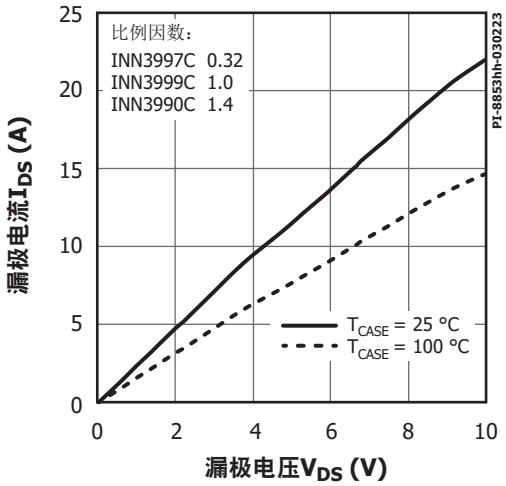


图 39. 输出特性

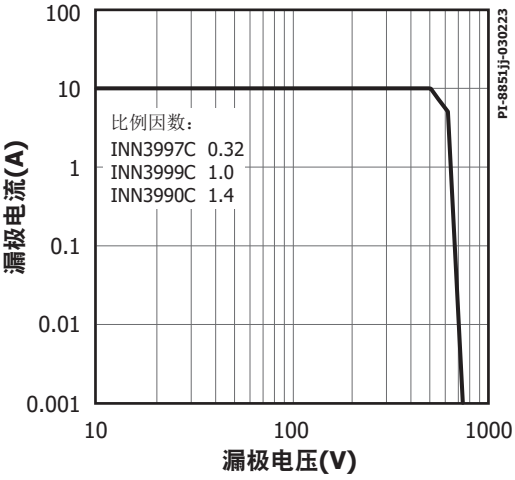
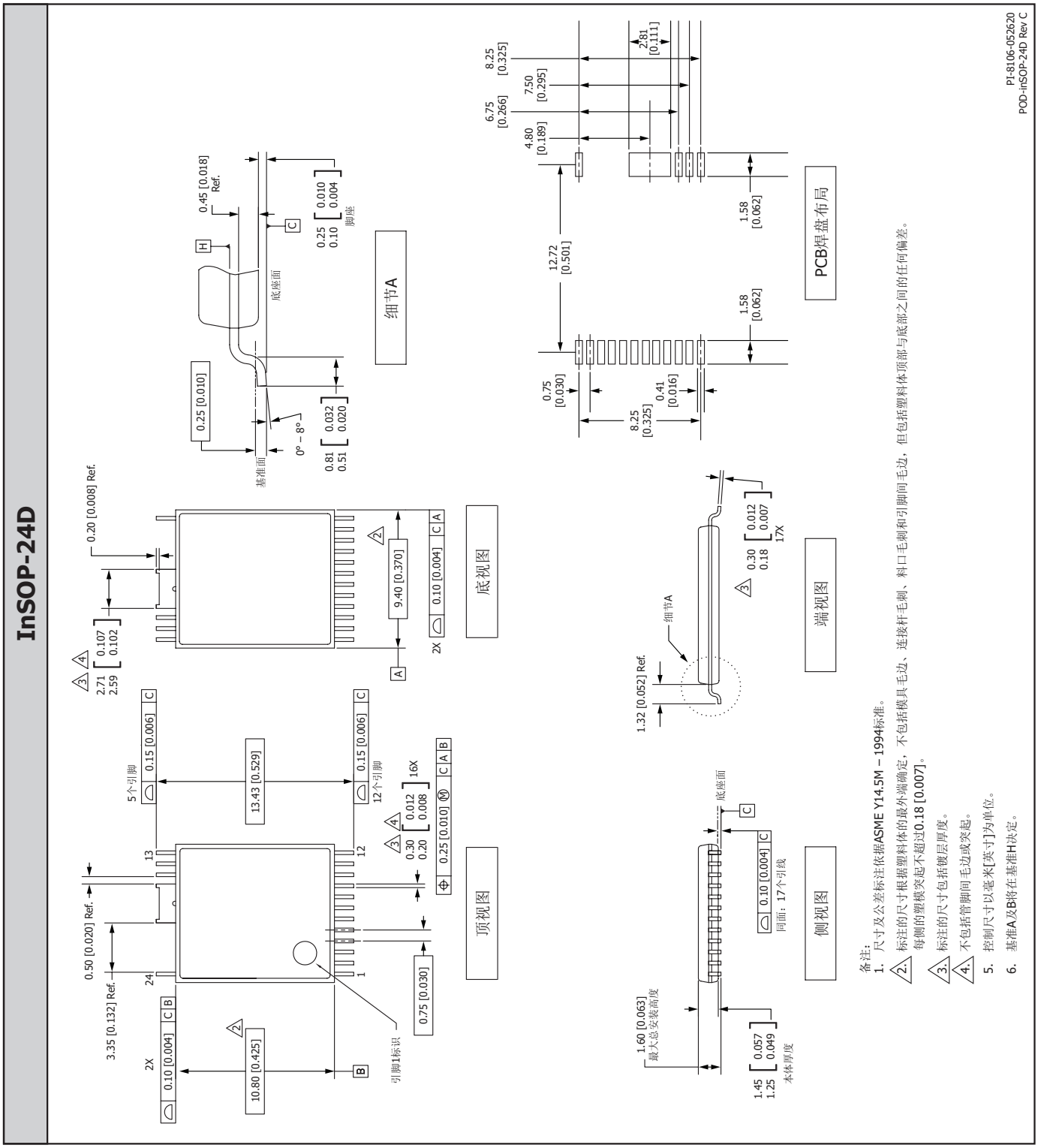


图 40. 最大容许漏极电流相对于漏极电压的变化

InSOP-24D



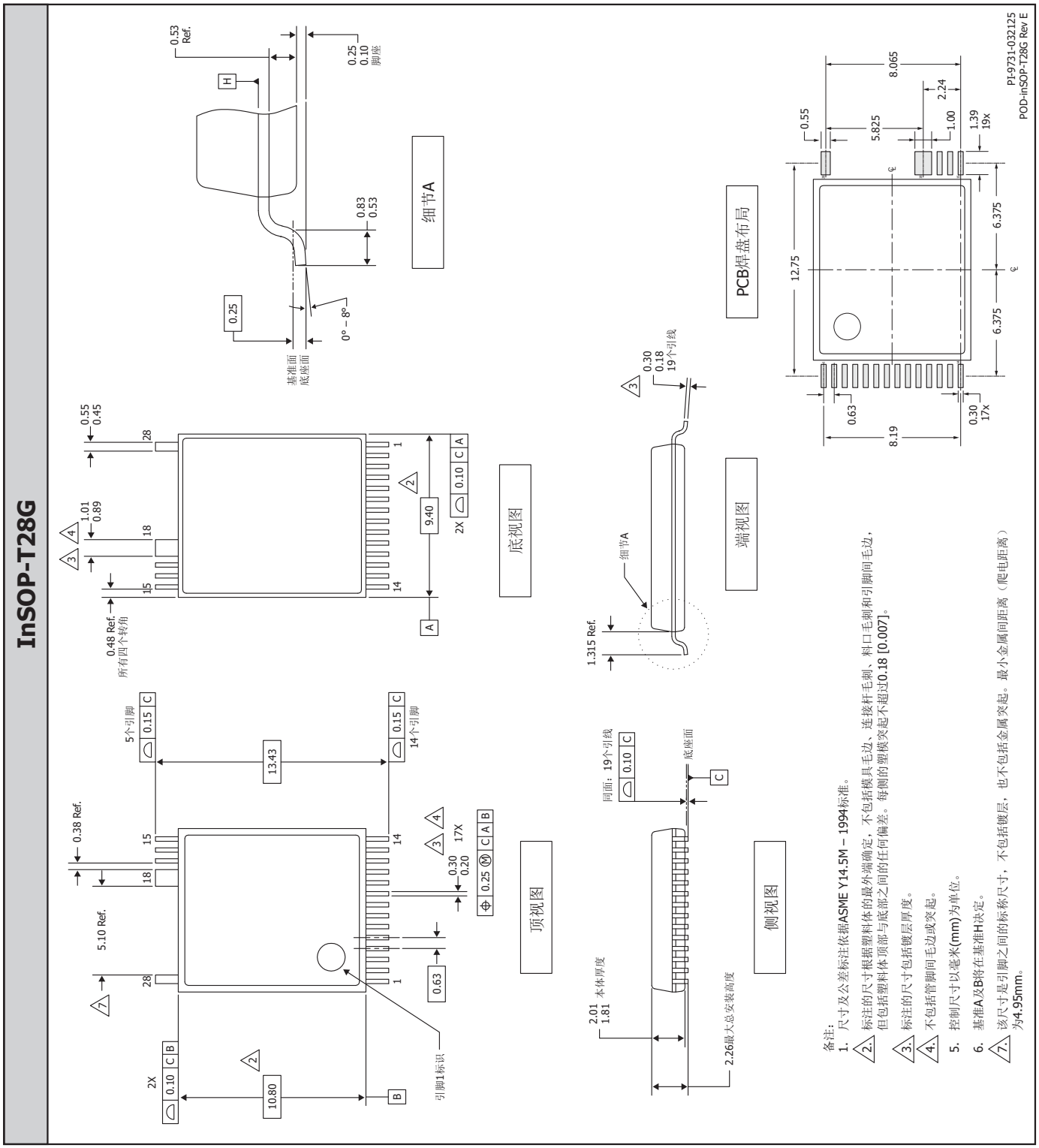
备注：

1. 尺寸及公差标注依据ASME Y14.5M – 1994标准。
2. 标注的尺寸根据塑料体的最外端确定，不包括模具毛边、连接杆毛刺、料口毛刺和引脚间毛边，但包括塑料体顶部与底部之间的任何偏差。每侧的塑模突起不超过0.18 [0.007]。
3. 标注的尺寸包括镀层厚度。
4. 不包括管脚间毛边或突起。
5. 控制尺寸以毫米[英寸]为单位。
6. 基准A及B将在基准H决定。

P1-8106-052620
POD-inSOP-24D Rev C

POD-inSOP-24D_C_052920

InSOP-T28G



备注：

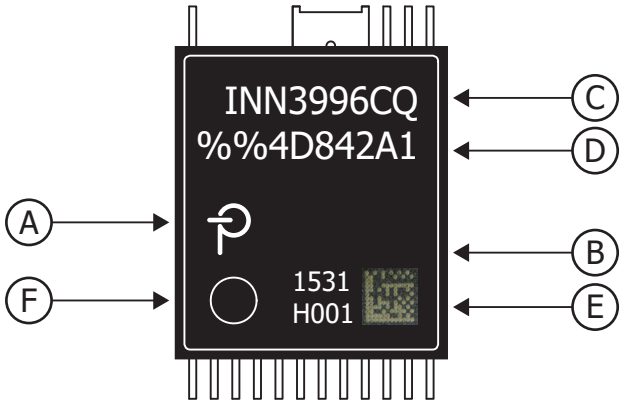
1. 尺寸及公差标注依据ASME Y14.5M – 1994标准。
2. 标注的尺寸根据塑料体的最外端确定，不包括模具毛边、连接杆毛刺、料口毛刺和引脚间毛边，但包括塑料体顶部与底部之间的任何偏差。每侧的塑模突起不超过0.18 [0.007]。
3. 标注的尺寸包括镀层厚度。
4. 不包括管脚间毛边或突起。
5. 控制尺寸以毫米(mm)为单位。
6. 基准A及B将在基准H决定。
7. 该尺寸是引脚之间的标称尺寸，不包括镀层，也不包括金属突起。最小金属间距离（爬电距离）为4.95mm。

PI-9731-032125
POD-inSOP-T28G Rev E

POD-inSOP-T28G_C_040423

封装标识

InSOP-24D

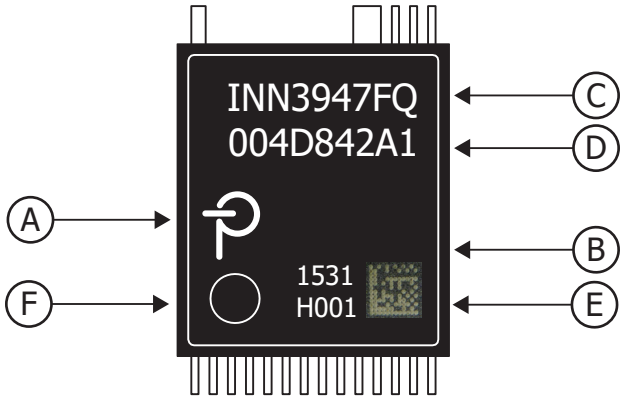


A. Power Integrations注册商标
B. 封装日期代码（表明年份(YY)的两个数字后紧跟表明周数的两个数字）
C. 产品识别（元件型号/封装类型）
D. 批次识别代码
E. 制造信息条形码
F. 引脚1指示

PI-9413-070821

封装标识

InSOP-T28G



A. Power Integrations注册商标
B. 封装日期代码（表明年份(YY)的两个数字后紧跟表明周数的两个数字）
C. 产品识别（元件型号/封装类型）
D. 批次识别代码
E. 制造信息条形码
F. 引脚1指示

PI-9750-061623

参数	条件		额定值	单位
UL1577额定值				
初级侧电流额定值	由引脚(16-19)至引脚24的电流	INN3977CQ、INN3996CQ INN3997CQ、INN3999CQ、INN3990CQ	1.5	A
		INN3947CQ、INN3947FQ	0.65	
		INN3949CQ、INN3949FQ	1.1	
初级侧功率额定值	T_{AMB} = 25°C （器件安装在插座中，此时T_{CASE} = 120°C）		1.35	W
次级侧功率额定值	T_{AMB} = 25°C （器件安装在插座中）		0.125	W

参数	符号	条件		额定值	单位
封装特性					
电气间隙	CLR			11.4	mm（最小值）
爬电距离	CPG			11.4	mm（最小值）
绝缘材料内的间距	DTI			0.4	mm
相对漏电起痕指数	CTI			>600	V
隔离电阻，输入至输出	R_{IO}	V_{IO} = 500V，T_J = 25°C（见注释1）		10^{12}	Ω（最小值）
		V_{IO} = 500V，100°C≤T_J≤125°C（见注释1）		10^{11}	
隔离电容，输入至输出	C_{IO}	（见注释1）		1	pF
封装绝缘特性					
最大有效值工作隔离电压	$V_{IORM(RMS)}$	INN3977CQ		530	V_{RMS}（最大值）
		INN3996CQ、INN3997CQ、INN3999CQ、INN3990CQ		636	
		INN3947CQ、INN3947FQ、INN3949CQ、INN3949FQ		1202	
最大重复峰值隔离电压	$V_{IORM(PK)}$	INN3977CQ		750	V_{PK}（最大值）
		INN3996CQ、INN3997CQ、INN3999CQ、INN3990CQ		900	
		INN3947CQ、INN3947FQ、INN3949CQ、INN3949FQ		1700	
最大瞬态峰值隔离电压	V_{IOTM}	测试电压 = V_{IOTM}，t = 60s（合格）		6.6	kV_{PK}（最大值）
		t = 1s（100%产品）		8	
最大浪涌隔离电压	V_{IOSM}	浪涌测试1.2/50us 表2 IEC 60747-17		10.4	kV_{PK}（最大值）
输入至输出测试峰值电压	V_{PD}	方法A，在环境测试子组1之后，V_{PD} = 1.6 × V_{IORM}，t = 10s（合格）局部放电<5pC	INN3977CQ	1200	V_{PEAK}（最小值）
			INN3996CQ、INN3997CQ、INN3999CQ、INN3990CQ	1440	
			INN3947CQ、INN3947FQ、INN3949CQ、INN3949FQ	2720	
		方法A，在输入/输出安全测试子组2/3之后，V_{PD} = 1.2 × V_{IORM}，t = 10s（合格）局部放电<5pC	INN3977CQ	900	
			INN3996CQ、INN3997CQ、INN3999CQ、INN3990CQ	1080	
			INN3947CQ、INN3947FQ、INN3949CQ、INN3949FQ	2040	
		方法B1，100%产品测试，V_{PD} = 1.875 × V_{IORM}，t = 1s 局部放电<5pC	INN3977CQ	1406	
			INN3996CQ、INN3997CQ、INN3999CQ、INN3990CQ	1688	
			INN3947CQ、INN3947FQ、INN3949CQ、INN3949FQ	3188	
绝缘电阻	R_S	V_{IO} = 500V，T_J = 150°C		>10^9	Ω
气候分类				40/125/21	

参数	条件	规格参数
IEC 60664-1等级信息		
基本隔离组	材料组	I
绝缘分类	额定电源有效值电压≤150V	I - IV
	额定电源有效值电压≤300V	I - IV
	额定电源有效值电压≤600V	I - IV
	额定电源有效值电压≤1000V	I - III

注释1: 隔离带每一侧的所有引脚连接在一起，从而形成双端子器件。

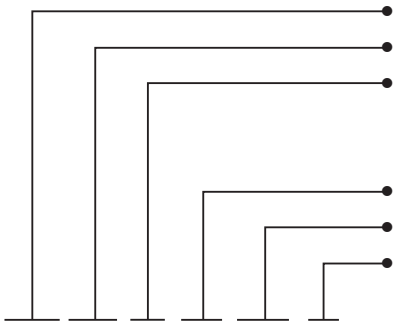
MSL信息

型号	MSL等级
INN3977CQ	3
INN3996CQ	3
INN3997CQ	3
INN3999CQ	3
INN3990CQ	3
INN3947CQ	3
INN3949CQ	3
INN3947FQ	3
INN3949FQ	3

ESD及闩锁信息

测试	条件	结果
125°C下锁存	JESD78D	> ±100mA或>1.5 × V_{MAX}，所有引脚
人体模型ESD	ANSI/ESDA/JEDEC JS-001-2014	> ±2000V，所有引脚
充电器件模型ESD	ANSI/ESDA/JEDEC JS-002-2014	> ±500V，所有引脚

元件订购信息



- **InnoSwitch3产品系列**
- **AQ序列号**
- **封装信息**
  - C | InSOP-24D
  - F | InSOP-T28G
- **“S”料号（3位或4位数字）可选**
- **特征代码（空白 = 缺省）**
- **卷带装及其他包装形式**
  - TL | 卷带装，每卷1800片 (InSOP-T28G)。
  - TL | 卷带装，每卷2000片 (InSOP-24D)。
  - MR | 迷你卷带装，每卷300片（仅限INN394x）。

缺省元件型号列表

技术	BV_{DSS}	元件型号	“S”料号	特征代码	缺省控制器修订版本	缺省特征代码
硅	750V	**INN3977CQ**	空白	空白	B60，晚于2024年6月24日	H640
	900V	**INN3996CQ**				
PowiGaN	900V	**INN3997CQ**	空白	空白	C4	H607
		INN3999CQ				
		INN3990CQ				
碳化硅	1700V	**INN3947CQ**	空白	空白	C3，晚于2024年6月21日	H907
		INN3949CQ				
		INN3947FQ			C4	H607
		INN3949FQ				

建议新设计使用缺省型号（无“S”料号产品）。这些型号会自动过渡到未来的产品版本（在PCN期之后）。

特征代码表

特征代码	H100	H640	H607	H907
缺省特征代码	否	是		
适用元件型号	INN3949CQ INN3999CQ INN3990CQ	INN3977CQ INN3996CQ	INN3997CQ INN3999CQ INN3990CQ INN3947FQ INN3949FQ	INN3947CQ INN3949CQ
反馈	外部			
电流检测(I_S)	外部			
初级I_{LIM}	外部			
次级故障响应	自动重启动			
自动重启动的触发条件	V_O < 3.45V	V_O < 90%		
过温保护故障响应方式	滞回			
V引脚的功能	UV、OV	UV、OV	UV、OV	仅UV
V引脚UV计时器(t_{UV-})	32ms			
VOUT引脚OVP功能	已使能			
峰值输出功率模式	已禁止			

特征代码允许修改器件的缺省功能。对于缺省特征，无需在订购的元件型号中包含H代码。如果需要修改的功能，则只有H100必须明确包含在型号INN3949C、INN3999C和INN3990C中。

元件订购示例

INN3947FQ-TL	InnoSwitch3-AQ产品系列，序列号947，InSOP-28G封装，无“S”料号，卷带装
INN3947CQ0501-TL	InnoSwitch3-AQ产品系列，序列号947，InSOP-24D封装，控制器版本C的“S”料号，卷带装
INN3949FQ502-MR	InnoSwitch3-AQ产品系列，序列号949，InSOP-28G封装，控制器版本C4的“S”料号，卷带装
INN3949CQ-H100-TL	InnoSwitch3-AQ产品系列，序列号949，InSOP-24D封装，无“S”料号，特征代码H100，卷带装

特定版本元件型号列表

产品系列	可订购元件型号（有“S”料号）	控制器版本	PCN参考号	描述
InnoSwitch3-AQ Si MOSFET	INN3977CQ0500	B60（最新）	PCN-23181	允许指定特定的控制器版本
	INN3977CQ0501	B5	PCN-23181	允许指定特定的控制器版本
	INN3977CQ510	B60（最新）		指定添加二维条形码作为器件标识的一部分
	INN3996CQ0500	B60（最新）	PCN-23181	允许指定特定的控制器版本
InnoSwitch3-AQ SiC开关	INN3947CQ0500	C3（最新）	PCN-23231	允许指定特定的控制器版本
	INN3947CQ0501	C	PCN-23231	允许指定特定的控制器版本
	INN3949CQ0500	C3（最新）	PCN-23181	允许指定特定的控制器版本
	INN3949CQ0501	C	PCN-23231	允许指定特定的控制器版本。不适用于H100特征代码
	INN3947FQ502	C4（最新）	PCN-23231	允许指定特定的控制器版本
	INN3949FQ502	C4（最新）	PCN-23231	允许指定特定的控制器版本
InnoSwitch3-AQ GaN开关	不适用	不适用	不适用	不适用

特定版本元件型号（有“S”料号）允许指定：

- 器件版本，无论将来如何更改
- 在PCN缺省型号生效日期之前的较新版本

修订版本	注释	日期
D	生产发布。	02/21
E	INN3947CQ和INN3949CQ生产发布。	01/22
F	新增INN3947/INN3949的典型性能曲线：BV_{DSS}和$R_{DS(ON)}$。	10/22
G	更新了第1页上的绝缘强度和DIN VDE V 0884-11。更新了第29页上的V_{IOTM}并删除了V_{ISO}。	11/22
H	INN3997CQ、INN3999CQ和INN3990CQ元件型号介绍发布。	05/23
I	新增“S”料号产品表。	08/23
J	新增特征代码表。	11/23
K	900V PowiGaN、INN3997CQ、INN3999CQ、INN3990CQ元件型号生产发布。	12/23
L	更新了绝对最大值表、第18页上的注释10和第36页上的元件订购信息表。	01/24
M	更新了I_{S2} INN3997CQ、$R_{DS(ON)}$ INN3997CQ和V_{FB}的参数值。	06/24
N	更新了第1页上的安规通过信息。	09/24
O	INN3947FQ和INN3949FQ器件介绍发布。	11/24
P	F封装器件初步发布。	12/24
Q	在InSOP-T28G封装图中添加了PCB焊盘布局。F封装代码A生产发布，并更新了相关参数表条目。	03/25
R	对修订版本Q的修订历史记录进行更正。	03/25
S	发布INN3977CQ的510“S”料号产品。	06/25
T	INN3999CQ的H100特征代码初步发布。	06/25
U	INN3999CQ的H100特征代码介绍发布。	08/05
V	INN3999CQ的H100特征代码生产发布。	08/25
W	第1页：删除了输出功率对照表下面的注释3。第7页：更新了FB引脚AR（具有特征代码H100的输出电压引脚）。第9页：更新图10标题为“15V、30W电源”。第20页：更新了INN3977CQ和INN3996CQ标准限流点和升高限流点的数值。第23页：在过温关断部分新增一行，并在典型值下添加数值142。第23页：将INN3997CQ、INN3999CQ、INN3990CQ的关断状态漏极漏电流典型值从200更新为266。第21、22和31页：将电压跌落延迟时间的符号从TUV+改为TUV-。第24页：为BPS引脚自动重启动关断阈值电流新增了条件。第36页：更新了元件订购信息，新增“卷带装，每卷1800片(InSOP-T28G)”。第37页：在特征代码表中添加了INN3990CQ（适用特征代码：H100）。第38页：INN3977CQ510 – 更正了元件ID并删除了PCN参考号。	10/25
X	格式修正；第10页将BPP偏置电容推荐信息更新至最新内容；第20页新增INN3997CQ、INN3999CQ及INN3990CQ的限流性能参数；第22页优化了INN394xCQ器件电压跌落阈值限值。	02/26
Y	增加了t_{SOA}参数。	04/26

有关最新产品信息，请访问：www.power.com

有关专利信息、生命支持政策、商标信息以及获取Power Integrations全球销售与工程支持网络及服务列表，请使用以下链接。

https://www.power.com/company/sales/sales-offices