

# InnoMux2-EP产品系列

适合多路输出应用的零电压开关(ZVS)离线反激式开关IC

## 产品特点

### 高度集成, 外形紧凑

- 使用单个控制器和变压器即可实现多达3路独立稳压输出
  - 无需后级稳压电路
- 集成了多模式准谐振断续导通模式(DCM)和连续导通模式(CCM)反激式控制器以及650V、725V、750V或1700V功率开关管、次级侧控制和同步整流驱动器
- 内部集成FluxLink™反馈链路, 无需光耦器
- 采用先进的同步整流FET控制技术的零电压开关(ZVS), 支持仅断续导通(DCM)模式工作
- 出色的动态响应: 以100%负载阶跃提供 $\pm 5\%$ 的恒压控制
- CV和CC(LED驱动)配置的输出高达200V

### EcoSmart™ – 高效节能

- PowiGaN™技术可实现90%以上的电源效率
  - 设计轻松满足全球能效标准
- 采用特有的开关控制方式, 能够在所有负载下实现一致的高效率性能
- 低耗散, 可利用PCB进行散热 - 无需散热片

### 先进的保护/安全特性

- 初级检测输出过压保护(OVP)
- 同步整流管(SR FET)栅极驱动开路检测
- 带滞回的过温度保护
- 对输入电压进行监测, 以便进行精确的电压缓升/跌落保护和过压保护
- 可为每个输出提供过载保护
- LED短路/开路保护

### 完全符合各项安规要求<sup>7</sup>

- 加强绝缘
- 绝缘强度 $>4000\text{VAC}$
- 产品100%进行HIPOT(高压绝缘)测试
- 通过UL1577隔离电压4000VAC(最大值)和TUV(EN62368)安全认证
- 可使设计达到整套EN61000-4测试标准的A级性能要求, 包括EN61000-4-2、4-3(30V/m)、4-4、4-5、4-6、4-8(100A/m)及4-9(1000A/m)

### 环保封装

- 无卤素且符合RoHS标准

### 支持的应用场景

- 显示器和电视机的高效驱动器
  - 适用于需要满足能源之星8、CEC和2021/2023欧盟标识要求的设计
- 适用于工业、智能电表和家电应用的高效多路输出电源



图 4. 左 - 采用InSOP-24B封装的InnoMux2-EP器件  
中 - 采用InSOP-T28D封装的InnoMux2-EP器件  
右 - 采用InSOP-T28G封装的InnoMux2-EP器件

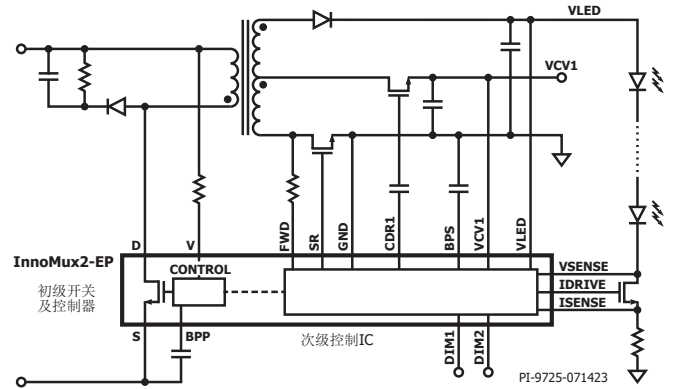


图 1. 具有LED驱动器的典型应用。(IMX2353F(1700V)不支持LED驱动器)

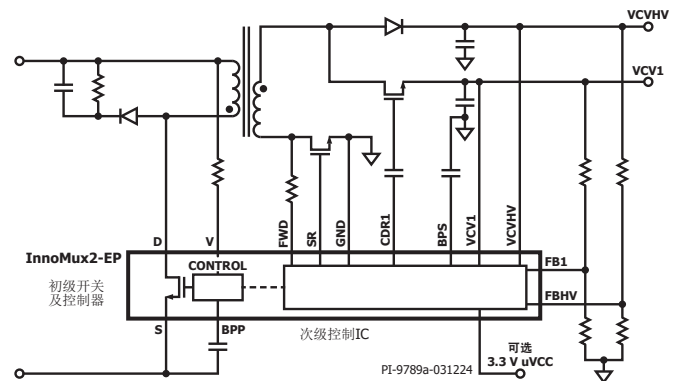


图 2. 具有两组恒压输出的典型应用

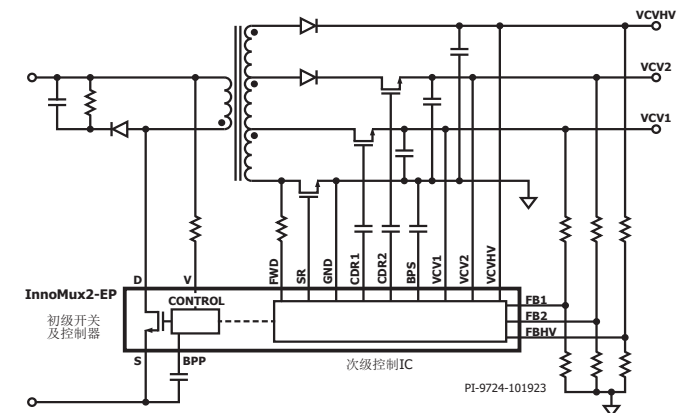


图 3. 具有三组恒压输出的典型应用

输出功率对照表			
型号	1组CV和1组CC输出 <sup>6</sup>		
	230VAC ±15% <sup>1</sup>	85-265VAC <sup>1</sup>	385VDC (PFC输入)
650V MOSFET			
<b>IMX2267C<sup>2</sup></b>	40W	36W	
<b>IMX2268C<sup>2</sup></b>	55W	50W	
750V PowiGaN			
<b>IMX2278F</b>	77W	60W	85W
<b>IMX2279F</b>	88W	70W	97W
<b>IMX2270F</b>	100W	80W	110W
2组和3组CV输出 <sup>6</sup>			
725V MOSFET			
<b>IMX2174F<sup>3</sup></b>	20W	15W	
<b>IMX2175F<sup>3</sup></b>	25W	20W	
<b>IMX2176F<sup>3</sup></b>	35W	27W	
<b>IMX2177F<sup>3</sup></b>	40W	36W	
750V PowiGaN			
<b>IMX2378F<sup>3</sup></b>	70W	55W	77W
<b>IMX2379F<sup>3</sup></b>	80W	65W	88W
<b>IMX2370F<sup>3</sup></b>	90W	75W	100W
1700V PowiGaN			
	85-670VAC 峰值或敞开式 <sup>1</sup>	200-1000VDC 峰值或敞开式 <sup>1</sup>	
<b>IMX2353F<sup>5</sup></b>	65W	70W	

表 1. InnoMux2-EP控制器元件型号

1. 连续输出功率是在+50°C环境温度下的典型敞开式应用中使用额定初级电流限流点测得的，并且采用足够的PCB热设计保证封装温度<125°C。
2. InSOP-24B (C)裸焊盘。
3. InSOP-T28D (F)。
4. InSOP-T28B (F)裸焊盘。
5. InSOP-T28G (F)。
6. 有关其他输出电压和电流配置或添加3.3V/25mA  $\mu$ VCC输出的信息，请联系您当地的PI代表。
7. IMX2353F正在申请安规认证。

## 描述

InnoMux™2-EP IC可显著提高功率变换效率。InnoMux2-EP产品系列可对每路输出提供独立调整和保护，从而消除多个后级变换级。基于InnoMux2-EP IC的设计具有低BOM数量和小尺寸。该产品系列将具有保护功能的初级和次级控制器、检测元件以及符合安全标准的反馈机制(FluxLink)集成到了单个IC中。InnoMux2-EP IC还集成了一个支持多模

式调光的LED背光控制器，非常适合有照明或显示要求的显示器、电视机和家电应用。

InnoMux2-EP IC还具有可最大限度地提高变换效率的增强功能，包括DCM工作模式中的准谐振开关、高精度SR控制以及LED驱动器的最小阈值调节。

## 配置选项

元件型号	开关额定值	连续功率	峰值功率 <sup>1</sup>	输出	CV <sup>1</sup> <sup>2</sup>	最大V <sub>LED</sub> <sup>2</sup>	V <sub>SENSE</sub> 电压 <sup>2</sup>	SR MOSFET驱动器	调光接口 <sup>2</sup>	封装
IMX2267C	650V	36W <sup>1</sup>	57W	1组CV, 1组CC	12V	80V	0.8V	否	两引脚滤波PWM/ 混合调光	InSOP-24B
IMX2268C	650V	50W <sup>1</sup>	80W	1组CV, 1组CC	12V	80V	0.8V	否	两引脚滤波PWM/ 混合调光	InSOP-24B
IMX2278F	750V	60W <sup>1</sup>	94W	1组CV, 1组CC	12V	140V	0.9V	是	两引脚滤波PWM/ 混合调光	InSOP-T28B
IMX2279F	750V	70W <sup>1</sup>	110W	1组CV, 1组CC	12V	150V	1.0V	是	两引脚滤波PWM/ 混合调光	InSOP-T28B
IMX2270F	750V	80W <sup>1</sup>	130W	1组CV, 1组CC	12V	170V	1.0V	是	两引脚滤波PWM/ 混合调光	InSOP-T28B
IMX2174F	725V	15W <sup>1</sup>		2 CV <sup>3</sup>				是		InSOP-T28D
IMX2175F	725V	22W <sup>1</sup>		2 CV <sup>3</sup>				是		InSOP-T28D
IMX2176F	725V	27W <sup>1</sup>		2 CV <sup>3</sup>				是		InSOP-T28D
IMX2177F	725V	36W <sup>1</sup>		2 CV <sup>3</sup>				是		InSOP-T28D
IMX2378F	750V	55W <sup>1</sup>		3 CV <sup>4</sup>				是		InSOP-T28D
IMX2379F	750V	65W <sup>1</sup>		3 CV <sup>4</sup>				是		InSOP-T28D
IMX2370F	750V	75W <sup>1</sup>		3 CV <sup>4</sup>				是		InSOP-T28D
IMX2353F	1700V	70W <sup>5</sup>		3 CV <sup>6</sup>				是		InSOP-T28G

表 2. 配置选项

1. 85 – 265VAC。
2. 这些参数可配置为其他值。
3. 可配置为3组CV输出。
4. 可配置为2组CV输出。
5. 200 – 1000VDC。
6. 也适用于2组CV输出。参见“特性代码”表。

## 结构框图

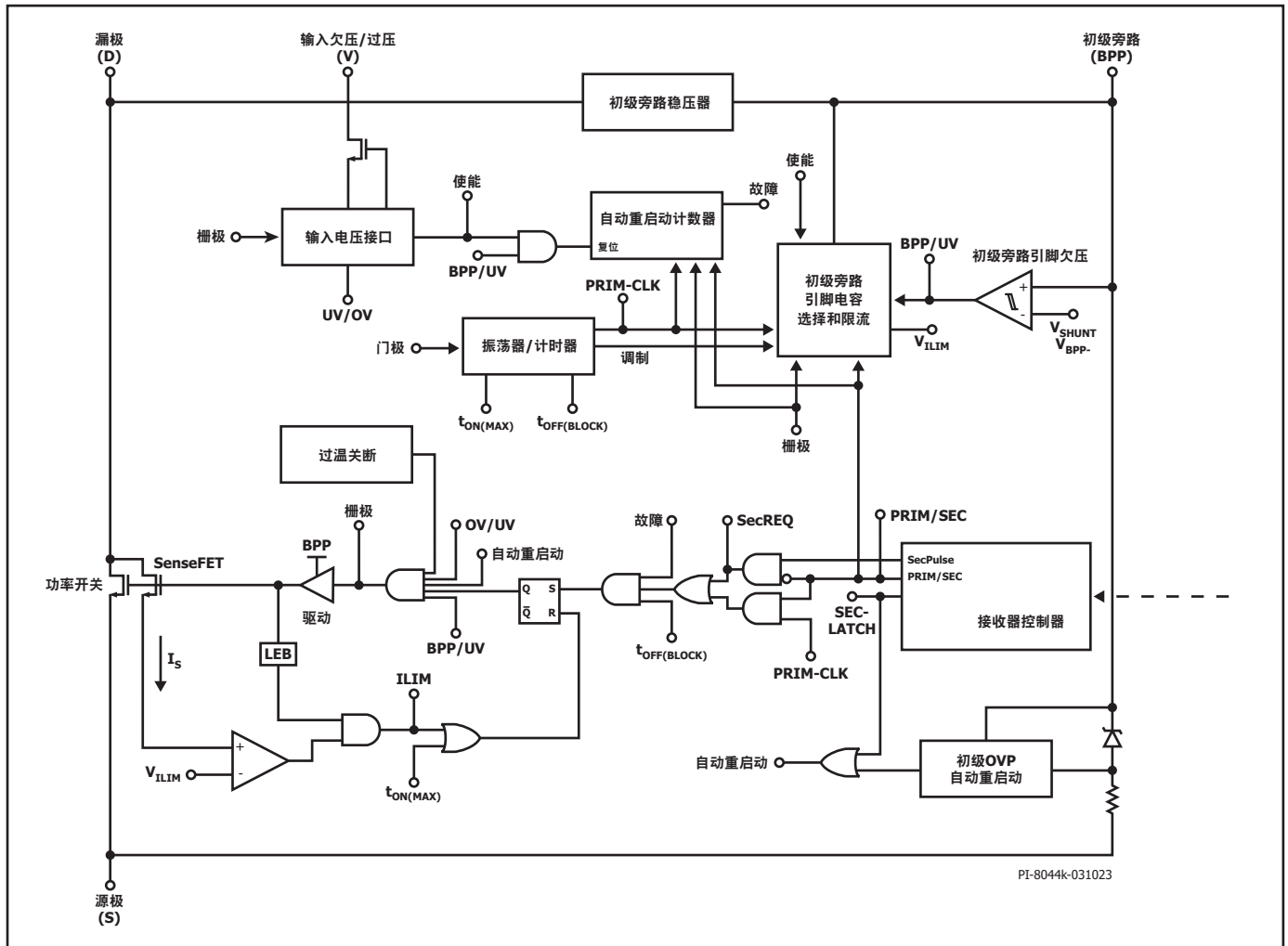


图 5. InnoMux2-EP初级侧框图

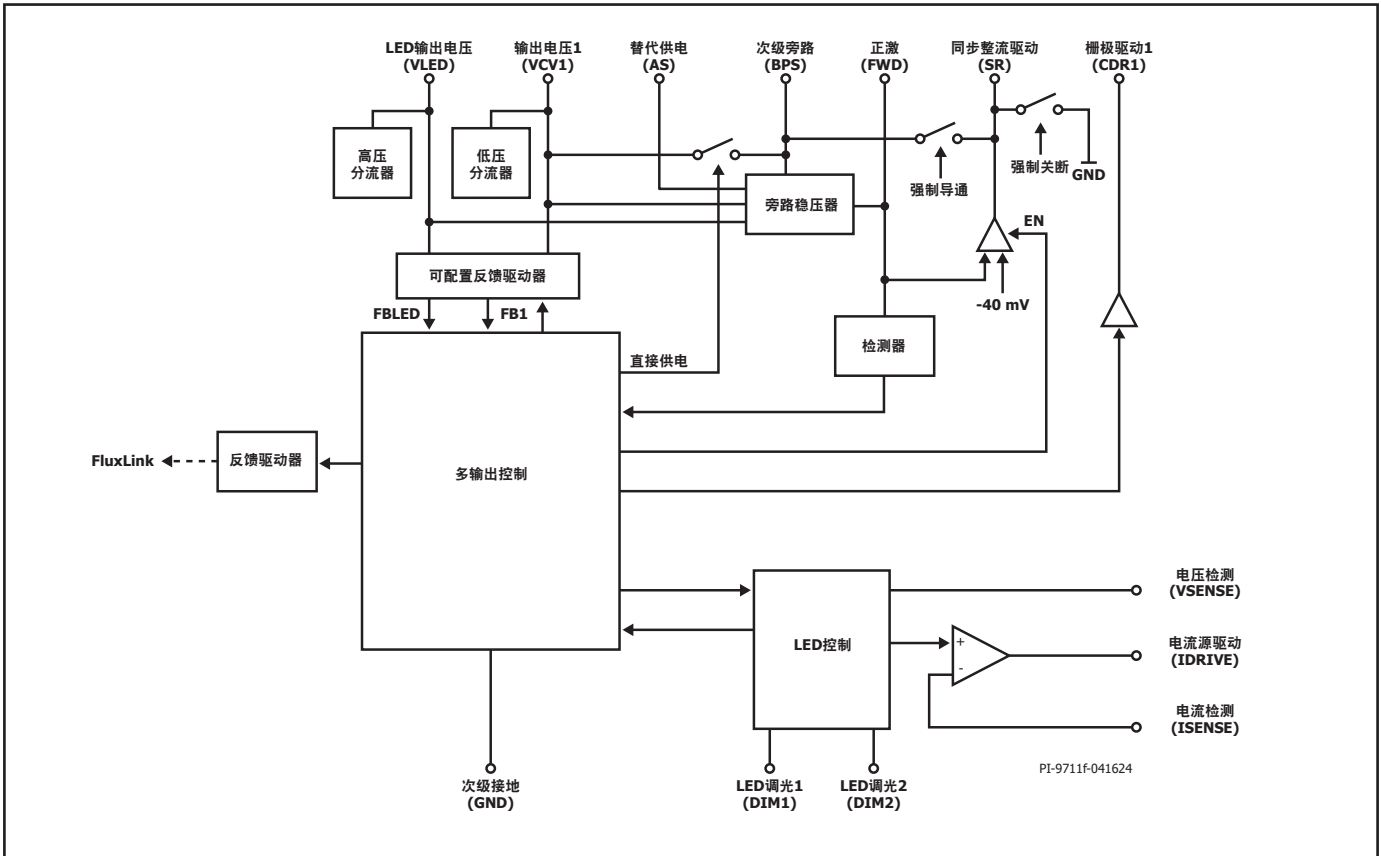


图 6. InnoMux2-EP次级侧框图及LED配置 (不适用于IMX2353F)

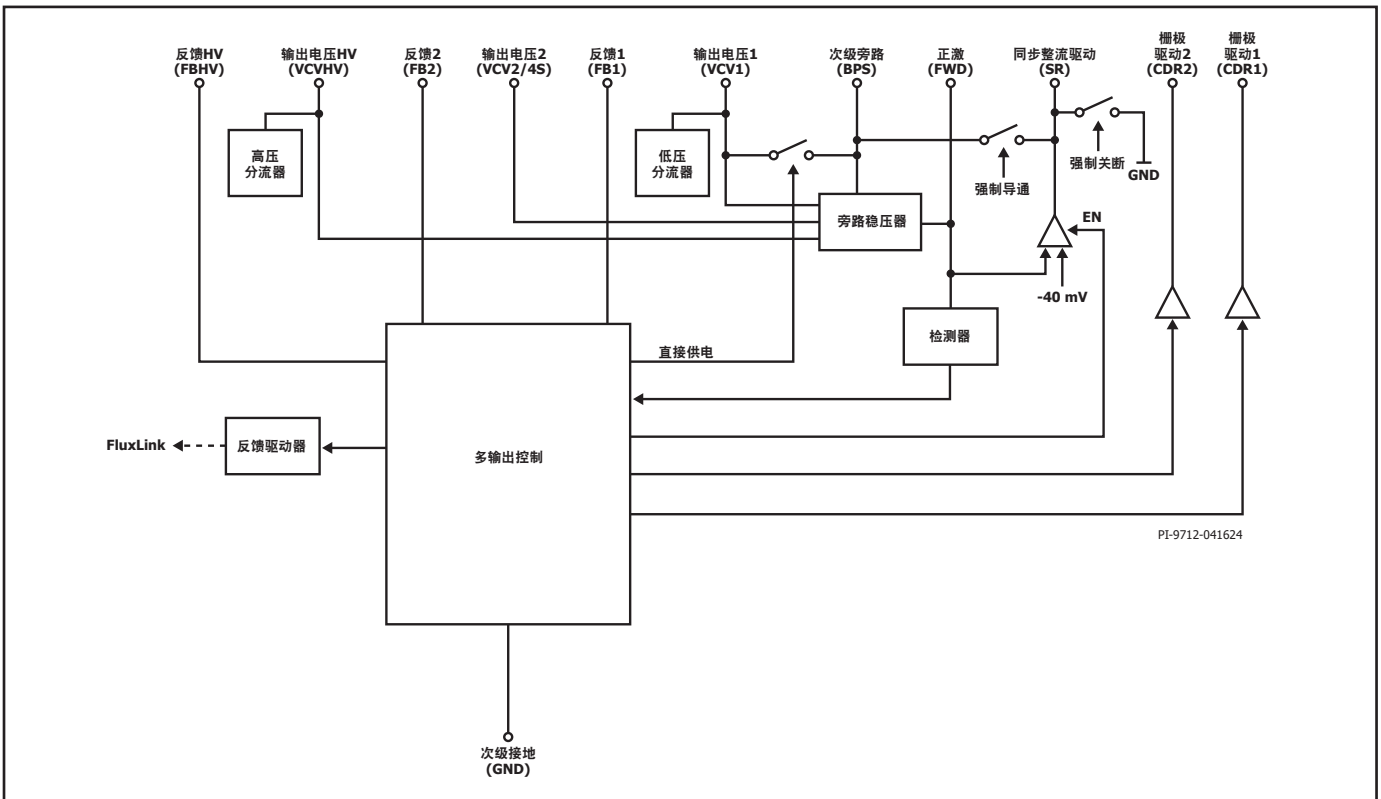


图 7. InnoMux2-EP次级侧框图及CV配置

## 引脚功能描述IMX226xC

### InnoMux2-EP InSOP-24B 1CV+1LED双调光引脚配置

#### 电流检测(ISENSE)引脚 (引脚1)

连接到外部LED驱动器的MOSFET源极端子，用于检测LED电流。外部电流检测电阻应连接在该引脚与GND引脚之间。

#### 次级接地(GND)引脚 (引脚2)

该引脚是次级IC的GND。

#### 电流源驱动(IDRIVE)引脚 (引脚3)

连接到外部LED驱动器的MOSFET栅极端子，用于控制LED电流。

#### 电压检测(VSENSE)引脚 (引脚4)

连接到外部LED驱动器的MOSFET漏极端子，用于调节电压，以降低MOSFET的功耗。

#### 栅极驱动1 (CDR1)引脚 (引脚5)

用于 $V_{CV1}$ 输出的外部选通MOSFET的栅极驱动器。

#### 次级旁路(BPS)引脚 (引脚6)

该引脚是外部旁路电容的连接点，用于为次级IC供电。

#### LED调光2 (DIM2)引脚 (引脚7)

LED调光控制输入。

#### LED调光1 (DIM1)引脚 (引脚8)

LED调光控制输入。

#### 正激(FWD)引脚 (引脚9)

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。在启动期间为次级侧控制器供电。

#### 输出电压1 (VCV1)引脚 (引脚10)

直接连接到 $V_{CV1}$ 输出电压，为次级侧控制器提供电流并为输出电压调节和保护提供检测。

#### LED输出电压(VLED)引脚 (引脚11)

直接连接到LED输出电压，为次级侧控制器提供电流并为LED电压调节和保护提供检测。

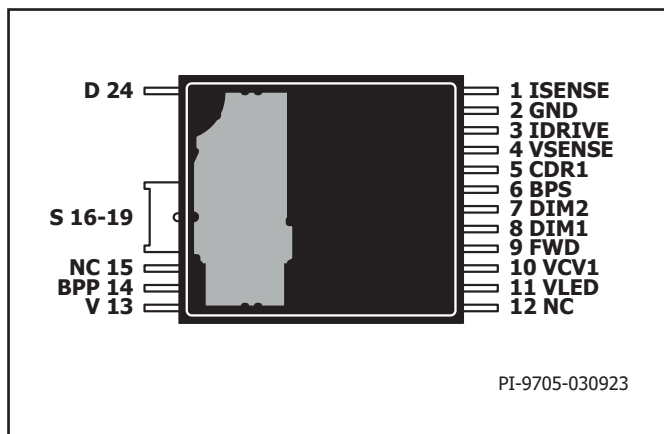


图 8. InnoMux2-EP InSOP-24B 1CV+1LED双调光引脚配置 (底视图)

#### NC引脚 (引脚12)

保持悬空。不得连接到任何其他引脚。

#### 输入欠压/过压(V)引脚 (引脚13)

该引脚是连接整流桥的AC端或DC端的高压引脚，用于检测电源输入端的欠压及过压情况。当该引脚连接至源极引脚时，UV/OV保护被禁止。

#### 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 $I_{LIM}$ 选择引脚，用于选择标准 $I_{LIM}$ 或 $I_{LIM+1}$ 。

#### NC引脚 (引脚15)

保持悬空或连接到源极引脚或BPP引脚。

#### 源极(S)引脚 (引脚16-19)

这些引脚是功率开关的源极连接点。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。

#### 源极(S)裸焊盘 (仅限InSOP-24B封装)

该引脚是源极连接点。它们也是初级旁路引脚的接地参考点。将所有源极引脚连接起来。用于增强温升管理。

## 采用SR引脚配置的InnoMux2-EP InSOP-T28B 1CV+1LED双调光方案 (IMX227xF)

### 电流检测(ISENSE)引脚 (引脚1)

连接到外部LED驱动器的MOSFET源极端子，用于检测LED电流。外部电流检测电阻应连接在该引脚与GND引脚之间。

### 次级接地(GND)引脚 (引脚2)

该引脚是次级IC的GND。

### 电流源驱动(IDRIVE)引脚 (引脚3)

连接到外部LED驱动器的MOSFET栅极端子，用于控制LED电流。

### 电压检测(VSENSE)引脚 (引脚4)

连接到外部LED驱动器的MOSFET漏极端子，用于调节电压，以降低MOSFET的功耗。

### 栅极驱动1 (CDR1)引脚 (引脚5)

用于 $V_{CV1}$ 输出的外部选通MOSFET的栅极驱动器。

### 次级旁路(BPS)引脚 (引脚6)

该引脚是外部旁路电容的连接点，用于为次级IC供电。

### LED调光2 (DIM2)引脚 (引脚7)

LED调光控制输入。

### LED调光1 (DIM1)引脚 (引脚8)

LED调光控制输入。

### 同步整流驱动(SR)引脚 (引脚9)

外部SR MOSFET的栅极驱动端。

### 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。在启动期间为次级侧控制器供电。

### 输出电压1 (VCV1)引脚 (引脚11)

直接连接到 $V_{CV1}$ 输出电压，为次级侧控制器提供电流并为输出电压调节和保护提供检测。

### 替代供电(AS) (引脚12)

次级侧控制器的替代供电输入。不使用时可以保持悬空。

### LED输出电压(VLED)引脚 (引脚13)

直接连接到LED输出电压，为次级侧控制器提供电流并为LED电压调节和保护提供检测。

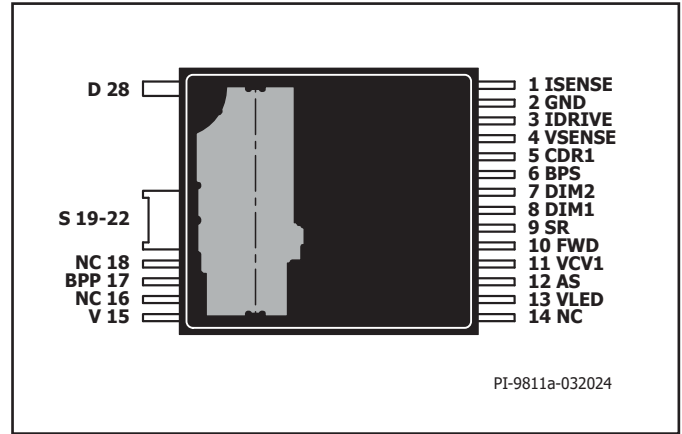


图 9. 采用SR引脚配置的InnoMux2-EP InSOP-T28B 1CV+1LED双调光方案 (底视图)

### NC引脚 (引脚14)

保持悬空。不得连接到任何其他引脚。

### 输入欠压/过压(V)引脚 (引脚15)

该引脚是连接整流桥的AC端或DC端的高压引脚，用于检测电源输入端的欠压及过压情况。当该引脚连接至源极引脚时，UV/OV保护被禁止。

### NC引脚 (引脚16)

保持悬空或连接到源极引脚或BPP引脚。

### 初级旁路(BPP)引脚 (引脚17)

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

### NC引脚 (引脚18)

保持悬空。不得连接到任何其他引脚。

### 源极(S)裸焊盘 (仅限InSOP-T28B封装)

该引脚是源极连接点。它们也是初级旁路引脚的接地参考点。将所有源极引脚连接起来。用于增强温升管理。

### 漏极(D)引脚 (引脚28)

该引脚是功率开关的漏极连接点。

## InnoMux2-EP InSOP-T28D 3CV/2CV引脚配置 (IMX217xF, IMX237xF)

### 反馈1(FB1)引脚 (引脚1)

该引脚连接到外部电阻分压器，可设定 $V_{CV1}$ 的电源输出电压。

### 次级接地(GND)引脚 (引脚2)

该引脚是次级IC的GND。

### 反馈2 (FB2)引脚 (引脚3) /2CV输出时为NC

该引脚连接到外部电阻分压器，可设定 $V_{CV2}$ 的电源输出电压。不用于2CV输出，保持悬空，且不应连接至任何其他引脚。

### NC引脚 (引脚4)

保持悬空。不得连接到任何其他引脚。

### 栅极驱动1 (CDR1)引脚 (引脚5)

用于 $V_{CV1}$ 输出的外部选通MOSFET的栅极驱动器。

### 次级旁路(BPS)引脚 (引脚6)

该引脚是外部旁路电容的连接点，用于为次级IC供电。

### 栅极驱动2 (CDR2)引脚 (引脚7) /2CV输出时为NC

用于 $V_{CV2}$ 输出的外部选通MOSFET的栅极驱动器。不用于2CV输出，保持悬空，且不应连接至任何其他引脚。

### 反馈HV (FBHV)引脚 (引脚8)

该引脚连接到外部电阻分压器，可设定 $V_{CVHV}$ 的电源输出电压。

### 同步整流驱动(SR)引脚 (引脚9)

外部SR MOSFET的栅极驱动端。

### 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。在启动期间为次级侧控制器供电。

### 输出电压1 (VCV1)引脚 (引脚11)

直接连接到 $V_{CV1}$ 输出电压，为次级侧控制器提供电流并为输出电压调节和保护提供检测。

### 输出电压2 (VCV2/AS)引脚 (引脚12)

直接连接 $V_{CV2}$ 到输出电压，为次级侧控制器提供电流。用作2CV配置的替代供电输入。不使用时可以保持悬空。

### 输出电压HV (VCVHV)引脚 (引脚13)

直接连接到 $V_{CVHV}$ 输出电压，为次级侧控制器提供电流并为输出电压调节和保护提供检测。

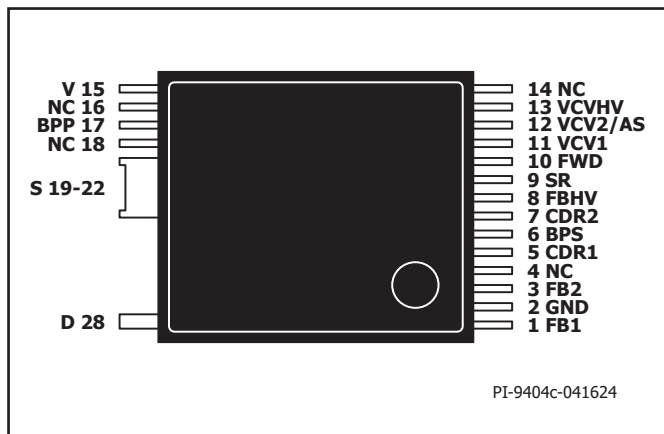


图 10. InnoMux2-EP InSOP-T28D 3CV/2CV引脚配置

### NC引脚 (引脚14)

保持悬空。不得连接到任何其他引脚。

### 输入欠压/过压(V)引脚 (引脚15)

该引脚是连接整流桥的AC端或DC端的高压引脚，用于检测电源输入端的欠压及过压情况。当该引脚连接至源极引脚时，UV/OV保护被禁止。

### NC引脚 (引脚16)

保持悬空或连接到源极引脚或BPP引脚。

### 初级旁路(BPP)引脚 (引脚17)

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

### NC引脚 (引脚18)

保持悬空。不得连接到任何其他引脚。

### 源极(S)引脚 (引脚19-22)

这些引脚是功率开关的源极连接点。它们也是初级旁路引脚的接地参考点。

### 漏极(D)引脚 (引脚23)

该引脚是功率开关的漏极连接点。



## InnoMux2-EP 2CV/3CV引脚配置 (IMX2353F)

### 反馈1(FB1)引脚 (引脚1)

该引脚连接到外部电阻分压器，可设定V<sub>CV1</sub>的电源输出电压。不用于内部反馈\*。

### 次级接地(GND)引脚 (引脚2)

该引脚是次级IC的GND。

### 反馈2 (FB2)引脚 (引脚3)

该引脚连接到外部电阻分压器，可设定V<sub>CV2</sub>的电源输出电压。不用于2CV输出配置或与内部反馈结合使用\*。

### NC引脚 (引脚4)

保持悬空。不得连接到任何其他引脚。

### 栅极驱动1 (CDR1)引脚 (引脚5)

用于V<sub>CV1</sub>输出的外部选通MOSFET的栅极驱动器。

### 次级旁路(BPS)引脚 (引脚6)

该引脚是外部旁路电容的连接点，用于为次级IC供电。

### 栅极驱动2 (CDR2)引脚 (引脚7)

用于V<sub>CV2</sub>输出的外部选通MOSFET的栅极驱动器。不用于2组CV输出配置。

### 反馈HV (FBHV)引脚 (引脚8)

该引脚连接到外部电阻分压器，可设定V<sub>CVHV</sub>的电源输出电压。

### 同步整流驱动(SR)引脚 (引脚9)

外部SR MOSFET的栅极驱动端。

### 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。在启动期间为次级侧控制器供电。

### 输出电压1 (V<sub>CV1</sub>)引脚 (引脚11)

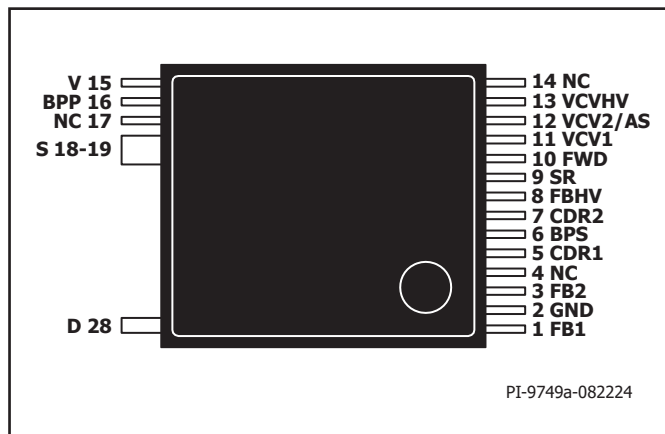
直接连接到V<sub>CV1</sub>输出电压，为次级侧控制器提供电流并为输出电压调节和保护提供检测。

### 输出电压2 (V<sub>CV2/AS</sub>)引脚 (引脚12)

直接连接V<sub>CV2</sub>到输出电压，为次级侧控制器提供电流。用作2CV配置的替代供电输入。不使用时可以保持悬空。

### 输出电压HV (V<sub>CVHV</sub>)引脚 (引脚13)

直接连接到V<sub>CVHV</sub>输出电压，为次级侧控制器提供电流并为输出电压调节和保护提供检测。



PI-9749a-082224

图 11. InnoMux2-EP InSOP-T28G 3CV引脚配置

### NC引脚 (引脚14)

保持悬空。不得连接到任何其他引脚。

### 输入欠压/过压(V)引脚 (引脚15)

该引脚是连接整流桥的AC端或DC端的高压引脚，用于检测电源输入端的欠压及过压情况。当该引脚连接至源极引脚时，UV/OV保护被禁止。

### 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ILIM或ILIM+1。

### NC引脚 (引脚17)

保持悬空。不得连接到任何其他引脚。

### 源极(S)引脚 (引脚18-19)

这些引脚是功率开关的源极连接点。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。

## InnoMux2-EP功能描述

InnoMux2-EP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。InnoMux2-EP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，提供一种安全可靠且低成本的控制方式，从次级控制器向初级控制器传递功率请求。

InnoMux2-EP的初级控制器是一个准谐振(QR)反激控制器，可在连续导通模式(CCM)或断续导通模式(DCM)下工作，并利用先进的SR FET控制技术实现零电压开关(ZVS)。该控制器使用变流控制方案。初级控制器包括抖频振荡器、与次级控制器磁耦合的接收器电路、限流控制器、初级旁路引脚5V稳压器、音频降噪引擎、旁路过压检测电路、无损耗输入电压检测电路、限流选择电路、过压保护、前沿消隐、次级输出二极管/SR MOSFET短路保护以及650V/725V/750V/1700V功率开关。

次级控制器包括磁感耦合至初级接收器的发射器电路、用于独立调整多达三个输出的多路输出控制器、次级旁路引脚5V稳压器、同步整流管(SR) MOSFET驱动器、上管MOSFET驱动器、用于防止各路输出在异常负载条件下升高的分流器、单串LED驱动器、时钟功能电路以及众多集成的保护特性。

图4、5和图6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

InnoMux2-EP IC采用CCM/CrM/DCM控制器并支持在DCM工作模式下的ZVS工作，可提高效率和扩大输出功率能力。

对于高压输入，1700V InnoMux2-EP (IMX2353F)采用可变频率的仅DCM控制器并支持SR ZVS工作模式。这种DCM ZVS工作模式通过对同步整流管的控制来实现初级侧的零电压开通。这样可以减少容性开通损耗并提高效率。

### 初级旁路(BPP)引脚稳压器

在功率开关处于关断期间，初级旁路引脚中的内部稳压器会从漏极引脚吸收电流，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。当功率开关导通时，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 $V_{SHUNT}$ 。这使得InnoMux2-EP IC可以通过偏置绕组从外部供电，从而降低空载功耗，增强低待机功耗状态的工作性能。

### 初级Bypass $I_{LIM}$ 设定

InnoMux2-EP IC允许用户通过选择初级旁路引脚的电容值来调节初级限流点( $I_{LIM}$ )设置。该电容可以使用陶瓷电容。有2个电容大小可供选择 - 0.47 $\mu$ F和4.7 $\mu$ F，它们分别用来设置标准和升高 $I_{LIM}$ 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 $\sim 4.5V (= V_{BPP} - V_{BPP(H)})$ 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 $V_{BPP(SHUNT)}$ ，才能重新使能功率开关。

### 初级旁路(BPP)输出过压功能

初级旁路引脚具备过压保护特性，提供锁存或自动复位响应。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，器件将锁存关断或禁止功率开关，经过时间 $t_{AR(OFF)}$ 后，控制器将重新启动并尝试返回稳压状态。

输出过压保护功能也是次级控制器的集成特性。

### 过温保护

过温关断电路检测初级开关结温。阈值设为 $T_{SD}$ ，提供滞回或锁存关断响应选项。

滞回响应：如果结温度超过阈值，功率开关被禁止，直到结温度下降 $T_{SD(H)}$ ，功率开关才会重新使能。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。

锁存关断响应：如果结温度超过这个阈值，功率开关被禁止。只有当初级旁路引脚电压低于 $V_{BPP(RESET)}$ 或者当电压低于输入欠压/过压引脚 $UV_{(UV-)}$ 阈值时，锁存才会被复位。

过温保护也是次级控制器的集成特性。

### 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补偿的特征，与从上一个初级开关周期结束（也即，从开关周期结束时初级开关关断时的时间）到下一个开关请求的时间成反比。

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（图12）。

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，开关周期的每周期最大电流接近100%  $I_{LIM}$ 。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，从而防止音频噪声）。开关周期之间的时间将随着负载降低继续增大。

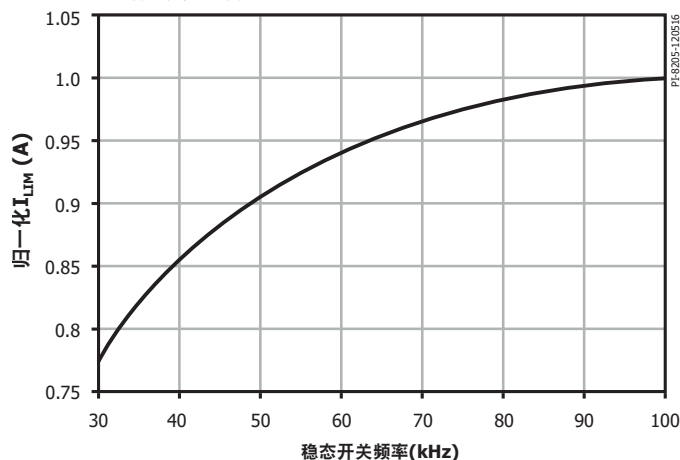


图 12. 归一化初级电流相对于开关频率的变化

## 调制

在调制频率  $f_M$  下，归一化限流点在100%和95%之间进行调制。这会使得在平均频率为~100KHZ时频率调制的幅度为7KHz左右。

## 自动重新启动

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），InnoMux2-EP进入自动重新启动(AR)工作或锁存关断。使初级旁路引脚电压低于~3V或者当电压低于输入欠压/过压引脚  $UV_{(TUV)}$  阈值时，锁存就会被复位。

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

1. 以高于过载检测频率 ( $f_{OVL}$ ) 的速率连续接收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。

次级控制器可以通过不向初级控制器发送开关请求周期来启动自动重新启动。然后，初级控制器将重新启动。

通信也可能丢失，在这种情况下，初级控制器也会尝试重新启动。虽然在正常工作模式下绝不会出现这种情况，但这在出现系统ESD事件时非常有用，例如，当初级在自动重新启动关断时间后发生重新启动，由于噪声干扰次级控制器而导致通信失常时，初级侧在自动重新启动关断时间后重新启动即可解决此类问题。

只要发生AC复位，自动重新启动就会被复位。

## SOA保护

如果有两个这样的连续周期，即在~500ns（消隐时间+限流点延迟时间）内达到限流点  $I_{LIM}$  时，控制器将跳过2.5个周期或~25 $\mu s$ 。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。

## 输入电压监测

输入欠压/过压引脚用于输入欠压及过压检测和保护的。

一个检测电阻连接在整流桥后（或者连接至整流桥的AC侧以实现快速AC复位）的高压直流大电容与输入欠压/过压引脚之间，用来使能该功能。将输入欠压/过压引脚短路至初级源极引脚可禁止该功能。请注意，该输入欠压/过压引脚的额定最大电压为650V；如果输入直流电压高于650V，则需要额外的外部钳位电路将该引脚电压钳位至650V以下。

上电时，在初级旁路引脚充电和  $I_{LIM}$  状态锁存后以及开始开关之前，控制器会检查输入欠压/过压引脚的状态，以确定其电压高于电压缓升阈值且低于过压关断阈值。

在正常工作下，如果输入欠压/过压引脚电流低于电压跌落阈值，并且低于电压跌落阈值的同时持续时间超过  $t_{UV}$ ，控制器会进入自动重新启动状态。只有当输入欠压/过压引脚电流高于电压缓升阈值时，开关才会恢复。

如果输入欠压/过压引脚电流高于过压阈值，控制器也会进入自动重新启动状态。同样，只有当输入欠压/过压引脚电流恢复至正常工作范围后，开关才会恢复。

输入欠压/过压功能利用输入欠压/过压引脚上的内部高压MOSFET来降低功耗。如果周期关断时间  $t_{OFF}$  大于50 $\mu s$ ，内部高压MOSFET将断开外部检测电阻与内部检测电路的连接，以消除检测电阻的电流消耗。输入电压检测功能将在下一个开关周期开始时再次激活。

## 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开关（这一点与标准TOPSwitch™、TinySwitch™、LinkSwitch™和其他InnoSwitch™控制器的工作方式非常类似）。

如果在自动重启动导通期间( $t_{AR}$ )，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，次级控制器将从正激引脚或输出电压上电，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，由瞬时输入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。

如果次级侧检测到初级侧未对开关请求作出响应，或者如果次级侧检测到初级侧在收到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。这种模式可以在初级侧开关时提供额外的SR MOSFET交越导通保护。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

当初级侧在从输入电压故障（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。

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~30 $\mu$ s的连续次级侧请求，初级侧将推断次级侧正在控制，并开始以从控制器的模式进行开关。如果在 $t_{AR}$ “等待”期间没有握手脉冲，初级侧将开始以主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

InnoMux2-EP IC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），对应的时间周期为142 $\mu$ s和83 $\mu$ s。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，功率开关的栅极驱动将被抑制。

次级控制器包括音频降噪引擎。

#### 频率软启动

启动时（握手前），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

该IC由5V ( $V_{BPS}$ )稳压器供电，而稳压器由输出或正激引脚供电。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供电。

正激引脚还连接到检测电路，用于握手以及开通和调节连接到同步整流驱动引脚的SR FET的时序电路控制。在断续模式下，正激引脚电压用于确定何时关断SR FET。

在连续导通模式(CCM)下，SR FET会在发送下一个开关周期请求之前关断，这可以提供出色的同步整流工作，防止可能出现的交越导通现象。正激检测器还在初级导通期间测量正激引脚电压，这将馈入SR零电压开关控制功能。

#### BPS稳压器

该稳压器将BPS引脚的电压限制在 $V_{BPS}$ 。BP稳压器将 $V_{CV1}$ 或 $V_{CV2/AS}$ 用为其供电。按如下方式自动选择供电电源：

- 如果 $V_{CV1}$ 引脚 $>V_{BPS\_VCV1}$ ，则使用 $V_{CV1}$ ；否则
- 如果 $V_{CV2}$ 引脚 $>V_{BPS\_VCV2}$ ，则使用 $V_{CV2/AS}$

$V_{CV1}/V_{LED}$ 只能在启动期间用作BPS的供电电源。在启动期间，正激引脚也用作BPS的供电电源。这是为了支持重载启动，而不是用于连续工作。当初级导通时，正激引脚至少需要为8V左右，才能正常工作。

BPS引脚上需要一个2.2 $\mu$ F或4.7 $\mu$ F的陶瓷电容。电容没有稳定性要求；BPS稳压器无条件保持稳定。

#### BPS稳压器 - 直接供电

当 $V_{CV1}$ 为5V ( $V_{CVSV\_BPS}$ )时，BPS引脚自动内部连接到 $V_{CV1}$ 引脚，直接为BPS供电，而不是使用BPS线性稳压器。这样可以减少次级控制器的功率损耗，降低待机功耗。当 $V_{CV1}$ 为 $V_{CVSV\_BPS}$ 时，将自动选择此功能。

#### 上管MOSFET驱动

上管选通MOSFET采用电容驱动方式，驱动电压高于给定输出5V。电容驱动方式得益于使用电容驱动(CDR)轻松实现电平转换。当其中一个开关长时间处于导通状态时，需要一个正常刷新周期以使CDR充满电荷，否则CDR上的电荷会缓慢泄漏。启动期间也需要刷新，以使CDR在上拉输出时跟随输出电压。必要时，控制器将关断选通MOSFET，然后再导通，以执行刷新周期。

默认刷新时间为 $T_{\text{REFRESH}}$ ，刷新时间在启动期间将翻倍至 $2 \times T_{\text{REFRESH}}$ 。刷新时间越长越好，但是需要在初级导通时间结束之前重新导通MOSFET。一旦恒压输出到达设定范围内，刷新时间就减少到 $T_{\text{REFRESH}}$ 。由于输出不再发生变化，仅需要刷新即可使CDR充满电荷，并且通过减少刷新时间，可以降低在刷新之前结束初级导通时间的风险。

需要在每个选通MOSFET的栅极和源极之间放置一个二极管，为电容充电提供路径。应使用肖特基二极管等低正向电压二极管。

CDR的最佳电容值取决于选通MOSFET的栅极电荷。选通MOSFET的导通栅极电压由 $V_{\text{BPS}} \times (C_{\text{DR}} / (C_{\text{G}} + C_{\text{DR}}))$ 确定，因此，栅极电荷（在5V栅极电压下）必须比CDR电容中的电荷小得多。CDR电容的典型值为100nF。CDR电容值较大时，刷新时间可能不足，并且在启动期间电容将无法跟随输出。因此，尽量为选通MOSFET选择低栅极电荷器件，以尽量减小所需的CDR电容值以及降低驱动MOSFET所需的能量。

### 上管MOSFET静态下拉

为确保在次级侧没有控制权的情况下选通MOSFET栅极保持低电平，CDR1和CDR2引脚具有内部下拉电路“导通”功能，可将引脚拉低，并降低栅极上由于电容耦合而产生的任何电压。

### 同步整流驱动

InnoMux2-EP IC上的SR驱动器不是简单的导通/关断型驱动器。当放电电流流入SR MOSFET时，SR MOSFET的栅源电压经过调制，将正激引脚电压调节至大约-40mV。这种调节方式可以提高抗噪能力，消除MOSFET过早关断而导致功率损耗增加的可能性。

当导通SR MOSFET时，强制导通信号会提供升压，以快速为栅源电容充电。强制关断信号用于在连续导通模式(CCM)模式下工作时快速对栅源电容进行放电，并确保MOSFET在次级不导通时保持关断。

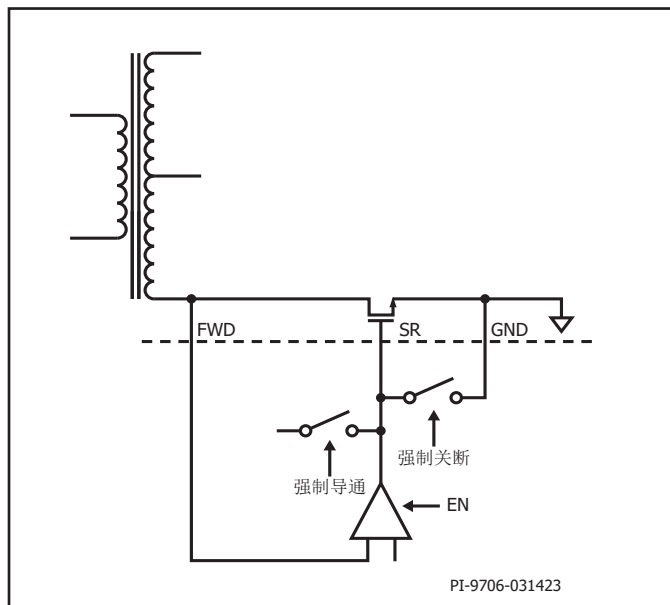


图 13. 同步整流驱动原理图

为获得最佳性能，建议使用栅源电容小于10nF的SR MOSFET。

### SR禁止保护

在每个周期内，SR只有在次级控制器已经发送一个新的开关请求，同时在正激引脚上检测到下降沿的情况下才能工作。

### 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，同步整流驱动引脚具有内部下拉电路“导通”器件，可将引脚拉低，并降低SR栅极上由正激引脚电容耦合所导致的任何电压。

### SR短路/开路保护

为了防止发生同步整流驱动引脚系统故障（SR引脚对地短路或SR引脚开路），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200pF，器件将认为同步整流驱动引脚处于“开路”状态。如果同步整流驱动引脚的外部电容高于20nF，器件将认为同步整流驱动引脚处于“短路”状态。在这两种情况中的任何一种情况下，都会检测到故障，否则控制器将认为SR FET已连接。

如果检测到同步整流驱动引脚故障，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。

### 多输出控制

多输出控制通过基于每个输出的FB引脚电压从初级请求脉冲，从而独立调整每个输出。然后，变压器能量被逐周期引导至需要能量的输出。这是通过导通与CV1或CV2输出串联的相应选通MOSFET来实现的。变压器的设计应确保 $V_{\text{OR}}$ 在 $V_{\text{CV1}}$ 和 $V_{\text{CV2}}$ 之间以及 $V_{\text{CVHV}}/V_{\text{LED}}$ 之间增加。这可以保证当 $V_{\text{CV1}}$ 或 $V_{\text{CV2}}$ 的选通MOSFET导通时，通过 $V_{\text{LED}}$ 二极管的电流可以忽略不计，关断这两个MOSFET将把能量输送到LED输出。

### InnoMux2-EP增强的音频降噪功能

InnoMux2-EP IC具有增强的音频噪声降低功能。

多输出控制可在变压器磁通中产生开关频率的次谐波频率。这些次谐波可落入音频范围内。InnoMux2-EP IC通过在输出之间共享一部分放电脉冲来避免这种情况。

这是通过以下方式实现的：允许放电脉冲的第一部分到达 $V_{\text{CVHV}}/V_{\text{LED}}$ 输出，然后在放电过程中导通选通MOSFET，允许放电的第二部分流经 $V_{\text{CV1}}$ 或 $V_{\text{CV2}}$ 输出。MOSFET导通以从 $L_{\text{ED}}/V_{\text{CVHV}}$ 输出切换到CV1或CV2输出的点取决于输出的相对负载。

这样做的另一个好处是可减少次级绕组中的有效电流，从而降低功耗。在给定的滤波电容的情况下，每个输出的工作频率都会提高（而功率开关频率保持不变），从而降低输出纹波。



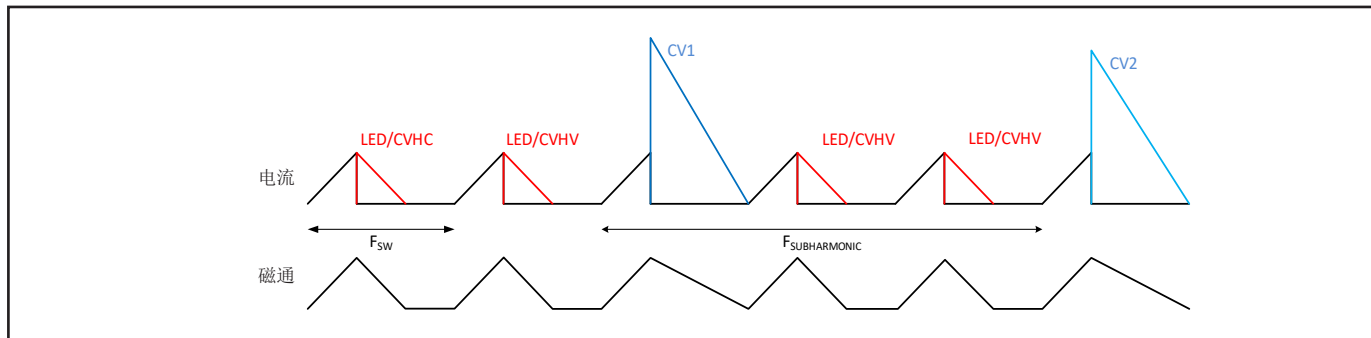


图 14. 多输出控制开关模式

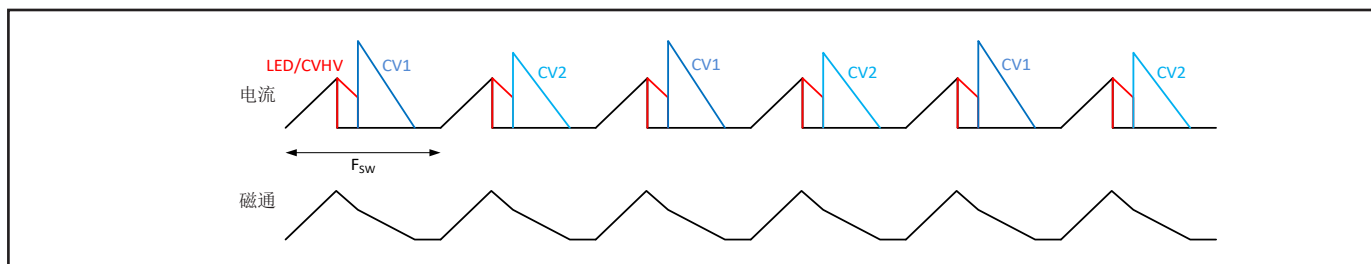


图 15. InnoMux2-EP的开关模式

### 输出电容要求

InnoMux2-EP IC对每个输出都有最小输出电容要求，以确保最佳工作状态。其计算公式如下：

$$C_{OUTmin} = \frac{L_{PRI} \times I_{LIMIT}^2}{4 \times \frac{V_{OUT}^2}{V_{FB(REG)}} \times V_{SHTHR}}$$

其中：

$L_{PRI}$  为初级电感量

$I_{LIMIT}$  为初级峰值电流

$V_{OUT}$  为给定输出的输出电压

$V_{SHTHR}$ ：CV输出为10mV， $V_{LED}$ 输出为5mV

$V_{FB(REG)}$  内部电压比较器参考电压

### 最小关断时间

次级控制器利用与初级侧的FluxLink磁感耦合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。这可以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 $f_{SREQ}$ 。

### 最大次级侧抑制时间

必要时，次级侧对初级侧的开关控制进行约束以保证工作于最大频率以下并确保最小关断时间。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）也会抑制次级周期请求。周期请求之后未检测到正激引脚下降沿的最大允许时间为 $\sim 30\mu s$ 。

### 反馈

对于仅有CV输出的应用，输出电压反馈由反馈引脚（FB1、FB2、FBHV）提供，用于对每路输出的输出电压进行调整。内部电压比较器参考电压为 $V_{FB(REG)}$ 。

FB引脚对噪声敏感，因此反馈电阻网络需要靠近IC放置。正激引脚信号路径不得靠近FB节点。FB引脚和GND之间的电阻应为1-5k $\Omega$ 。也可以在FB引脚和GND之间放置一个100pF电容，以降低噪声。

### 反馈引脚短路/开路检测

在启动时，经过多个开关周期后，检测到的FB引脚电压低于 $V_{FB(OFF)}$ ，次级控制器将完成握手，接管控制权，并将停止周期请求以启动自动重新启动（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新启动）。

FB引脚的弱内部下拉可以检测到FB引脚开路。

当使用内部反馈时（与具有LED输出的应用一样），这种保护机制也适用。这可以防止V<sub>CV1</sub>和V<sub>LED</sub>引脚出现故障。

### 输出电压保护

如果输出电压比 $V_{CV1}$ 或 $V_{CV2}$ 的调整阈值高出12%，或比 $V_{CVHV}$ 的调整阈值高出20%，或比 $V_{LED}$ 的调整阈值高出16%，则发送指令给初级控制器锁存关断或开始自动重新启动程序。这种集成的输出过压保护可以联合使用，也可以独立于初级检测过压保护使用。

### 分流器

低压分流器用于限制 $V_{CV1}$ 输出上的电压异常举升。 $V_{CV1}$ 输出上的电压举升通常是由于较低 $V_{OR}$ 引起的。在将脉冲传送到其他输出之一后，当 $V_{CV1}$ 选通MOSFET导通时，少量能量从较高的闲置振荡电压传递到 $V_{CV1}$ 输出。当检测电压超过 $V_{LV(SHUNT)}$ 时，低压分流器导通。

在实际应用中， $V_{CV1}$  输出不太可能升高； $V_{CV1}$  输出升高通常只发生在  $V_{CV1}$  输出无负载而其他输出高负载工作时。 $V_{CV1}$  可能正在为次级控制器供电，仅此一点就足以防止升高。

高压分流器用于在未加载  $V_{CVHV}/V_{LED}$  输出时  $V_{CVHV}/V_{LED}$  输出达到峰值充电的情况下，将  $V_{CVHV}/V_{LED}$  母线上的电压限制为最大允许电压。这种峰值充电主要是由变压器中的漏电引起的。 $V_{CVHV}/V_{LED}$  输出通常具有最低的漏电量，因此将从用于  $V_{CV1}$  或  $V_{CV2}$  的开关周期中接收少量能量。当检测电压超过  $V_{HV(SHUNT)}$  时，高压分流器导通。

请注意， $V_{CV2}$  输出不需要分流器，因为该输出不易受到峰值充电或意外能量输送的影响。

### 过载/短路保护

$V_{CV1}$ 、 $V_{CV2}$  和  $V_{CVHV}/V_{LED}$  输出具有最大功率保护特性。控制器决定输出是否低于设置点 10% 以上（CV 输出）或 1% 以上（ $V_{LED}$  输出）。如果这种情况持续超过多个开关周期，则认为输出过载 - 输出短路，或者超出电源的输出功率能力，根本无法保持输出稳定。

### 过温锁存关断

过温关断电路检测次级结温。阈值设置为  $T_{SD(SEC)}$ 。

初级过温控制是主要的温度保护功能，同时具有滞回特性。次级控制器也有过温保护功能，但由于不具有滞回特性，一旦达到过温保护阈值，就会进行锁存关断。

### DCM ZVS 模式开关

当变换器在断续导通模式 (DCM) 下工作时，InnoMux2-EP IC 在初级开关管中具有零电压开关 (ZVS)。这是通过使用同步整流 (SR) MOSFET 实现的。该工作模式在连续导通模式 (CCM) 下被禁止。IMX2353F (1700V) 专用于 DCM ZVS 模式。

在导通初级开关管之前，SR MOSFET 在正激引脚上闲置振荡的波谷处导通。SR MOSFET 保持导通，为变压器的励磁电感充电。SR MOSFET 关断，初级电压降至接近零伏，此时初级开关导通。

实现 ZVS 的 SR MOSFET 导通时间由 InnoMux2-EP 控制器自动计算。这可以校正设计参数、输入电压和输出电压。该计算基于初级导通期间的正激引脚电压。要正确采样正激引脚电压，初级导通时间至少需要 500ns，正激引脚电压需要低于 100V。

当 LED 被禁止或输出 IMX2267 - IMX2268 的工作频率低于 15kHz 时，ZVS 不可用。在这种情况下，使用准谐振开关。

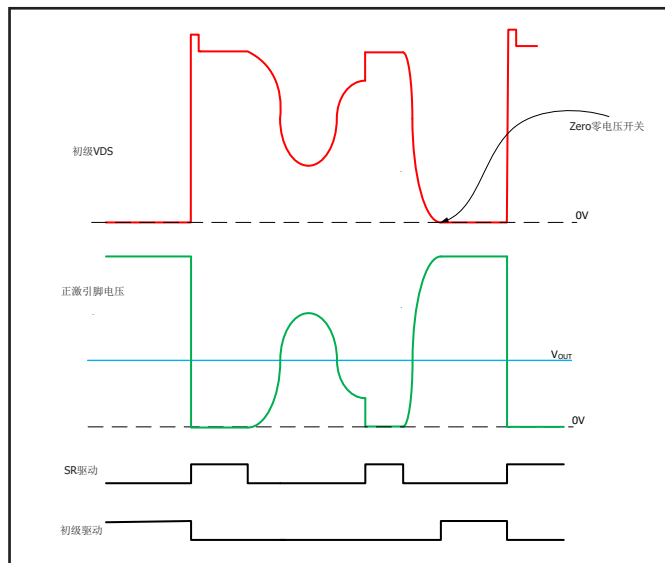


图 16. DCM ZVS 模式开关

## 仅断续导通(DCM)模式工作

对于PFC输入或仅高输入电压设计，DCM始终是首选，因为初级导通时SR电压尖峰较低。InnoMux2-EP IC可以选择仅允许DCM开关。为了确保极限条件下的功率传输，建议在 $K_p > 1.2$ 时使能该功能。该DCM ZVS模式适用于IMX2353F (1700V)。

## LED电流控制方式

InnoMux2-EP IC具有一个LED驱动器，用于控制LED灯串的电流。为了在电压和电流方面提供应用灵活性，使用了额外的MOSFET和检测电阻。

LED驱动器利用检测电阻来监测LED电流，并通过调整MOSFET栅极电压对LED电流加以控制。最大LED电流由下式给出：

$$I_{LED(MAX)} = \frac{V_{ISENSE(MAX)}}{R_{ISENSE}}$$

外部MOSFET必须是具有低栅源极阈值电压的逻辑电平型管子。最大驱动电压为 $V_{IDRIVE(SAT)}$ 。

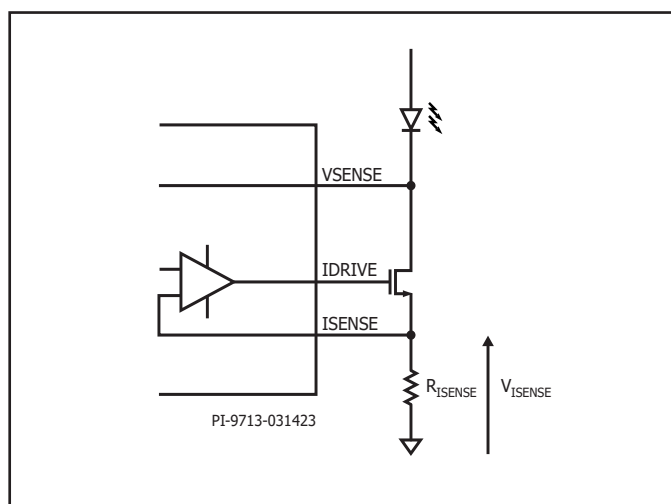


图 17. InnoMux2-EP LED驱动器

## $V_{LED}$ 输出的输出电压调整

为了最大限度地提高效率，InnoMux2-EP IC将电流源上的电压降保持在尽可能低的水平。因此，驱动LED灯串的输出电压( $V_{LED}$ )是根据四个电流源上所需的最小电压降来调节的。通过更改 $V_{LED}$ 输出电压设置点，可保持任何LED电流在电流源上的低电压降。

最小电压设置可进行配置，以适应各种LED要求和MOSFET特性。

为确保LED电压调节的稳定性，建议使用最大 $V_{LED}$ 输出电容，该电容取决于最大LED电压和最大LED电流。

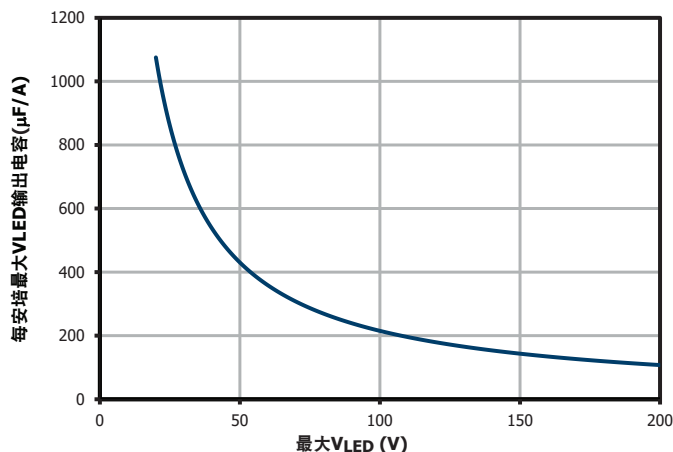


图 18. 最大LED输出电容

## LED调光

可以改变通过LED灯串的电流，以改变LED的亮度。

InnoMux2-EP IC支持多种调光模式，选择哪种方式取决于是否有1或2个调光引脚可用。调光模式也是可配置的。

图19提供了InnoMux2-EP IC可用调光模式的概览。

## PWM调光

在该模式下，LED电流以PWM输入给定的频率从零步进至 $I_{LED(MAX)}$ 。LED平均电流由PWM输入的占空比控制。

通过将具有所需占空比的PWM信号施加到DIM1引脚来支持PWM调光。允许的PWM频率范围是 $PWM_{F(RANGE)}$ 。将DIM1引脚拉低可禁止LED。

如果DIM2引脚可用，该引脚也可用作使能/禁止信号，将DIM2引脚拉低可禁止LED。在这种情况下，DIM1和DIM2都需要为高电平才能使能LED。

将DIM1或DIM2拉低是为了在“关屏”模式下禁止LED。禁止LED稳压器将降低InnoMux2-EP IC的电流消耗。

LED驱动器控制到最小导通时间( $t_{LED(ON)MIN}$ )可限制最小占空比，控制到最小关断时间( $t_{LED(OFF)MIN}$ )可在占空比达到100%之前限制最大占空比。100%的占空比是可以实现的。



## 模拟调光

在该模式下，LED电流是连续的，并且与DIM1引脚电压成正比。DIM1引脚上的 $V_{ADIM(MAX)}$ 对应于 $I_{LED(MAX)}$ ，降低DIM1引脚电压可线性降低LED电流。将DIM1引脚拉低至 $V_{ADIM(DISABLE)}$ 以下可禁止LED，并且它们将保持禁止状态，直到DIM1引脚电压高于 $V_{ADIM(ENABLE)}$ 。

如果DIM2引脚可用，该引脚也可用作使能/禁止信号，将DIM2引脚拉低可禁止LED。在这种情况下，DIM1和DIM2都需要为高电平才能使能LED。

此外，当DIM2引脚可用时，该引脚可用作PWM输入。这样就能通过调节电流占空比和电流水平来控制LED亮度。“混合调光”部分对此有进一步说明。

## 滤波PWM调光

在该模式下，LED电流是连续的（与模拟调光相同）。LED电流电平与DIM1引脚占空比成正比。这样就不需要生成精确的模拟电压，而可以使用常规的PWM信号，控制器将占空比转换为模拟电流电平。

DIM1引脚上100%占空比对应于 $I_{LED(MAX)}$ ，减小DIM1引脚的占空比可将LED电流由100%线性降至3%。允许的PWM频率范围是 $FPWM_{F(RANGE)}$ 。将DIM1引脚拉低可禁止LED。

如果DIM2引脚可用，该引脚也可用作使能/禁止信号，将DIM2引脚拉低可禁止LED。在这种情况下，DIM1和DIM2都需要为高电平才能使能LED。

此外，当DIM2引脚可用时，该引脚可用作PWM输入。这样就能通过调节电流占空比和电流水平来控制LED亮度。“混合调光”部分对此有进一步说明。

## 混合调光

混合调光是指将两种调光模式相结合：通过以模拟方式调节峰值水平来调节LED电流，以及通过脉冲方式调节LED电流（也即调节占空比）。

只有当DIM1和DIM2引脚都可用时，才能实现混合调光。DIM1是模拟电压输入或内部转换为模拟电平的PWM输入。DIM2是PWM输入。模拟输入、滤波PWM输入和PWM输入的工作方式如前文所述。

两个输入的组合LED调光水平不应低于 $I_{LED(MAX)}$ 的1%（即10%模拟和10% PWM）。

## LED故障

InnoMux2-EP IC具有LED故障保护功能。LED开路、LED驱动器MOSFET漏极对 $V_{LED}$ 短路以及LED对地短路均受到保护。

如果检测到LED开路，电源将继续工作，但LED输出将被禁止，直至重新启动。其他故障会导致重新启动或锁存关断。

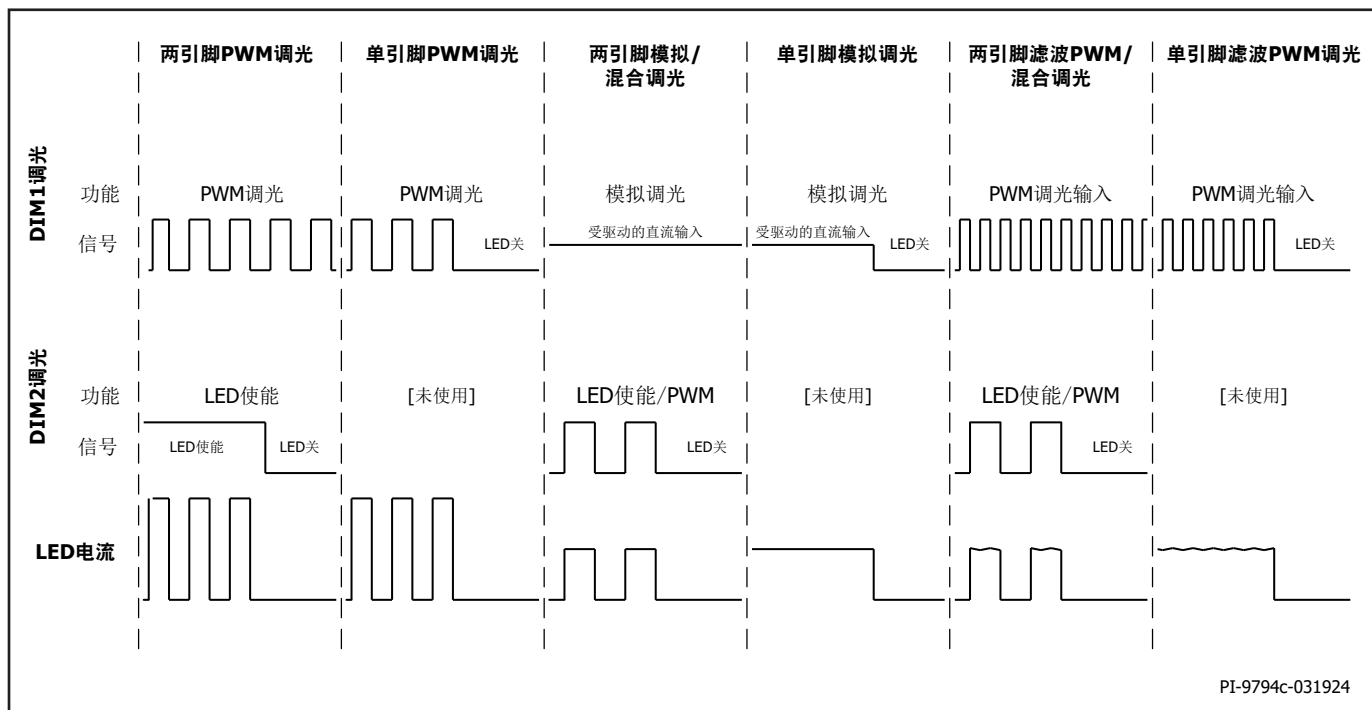


图 19. InnoMux2-EP调光模式

## 使用PowiGaN器件时的设计注意事项(IMX2353F)

对于反激变换器设计，IC漏极引脚的典型电压波形如图20所示。VOR是次级导通时初级绕组上的反射输出电压。VBUS是连接变压器初级绕组一端的直流电压。除VBUS+VOR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20中的VCLM是包括尖峰的复合钳位电压。初级开关的峰值漏极电压为VBUS、VOR与VCLM的总和。在所有正常工作条件下，都应选择VOR和钳位电压VCLM，以使峰值漏极电压低于1450V。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1700V的水平。

由于DCM工作模式仅适用于IMX2353F，因此在所有输入范围条件下，将反射输出电压(VOR)设置为主 $K_p \geq 1$ 。

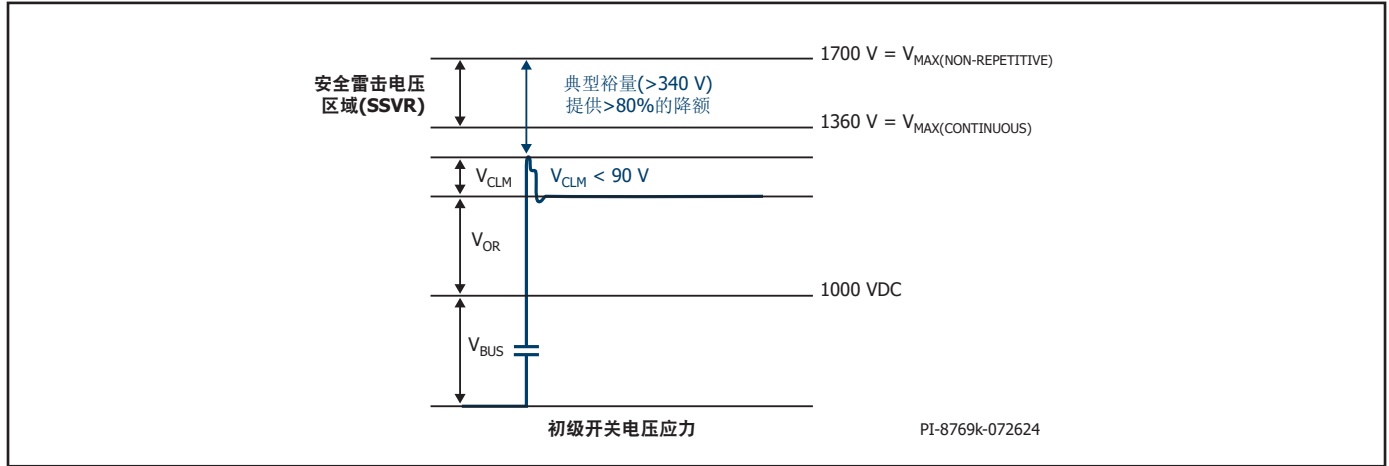


图 20. 1000VDC输入电压的峰值漏极电压

## 绝对最大额定值<sup>1,2</sup>

漏极引脚电压: IMX2267-IMX2268 .....	-0.3V到650V	贮存温度 .....	-65到150°C
漏极引脚电压: IMX2174-IMX2177 .....	-0.3V到725V	工作结温 <sup>3</sup> .....	-40到150°C
漏极引脚电压: IMX2x78、IMX2x79、IMX2x70.....	-0.3V到750V <sup>5</sup>	引线温度 <sup>4</sup> .....	260°C
漏极引脚电压: IMX2353.....	-0.3V到1700V <sup>6</sup>	备注:	
漏极引脚峰值电流: IMX2174.....	3.47 A <sup>7</sup>	1. 所有电压都是以 $T_A = 25^\circ\text{C}$ 时的源极和次级接地端为参考点。	
IMX2175 .....	4.11 A <sup>7</sup>	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。	
IMX2176 .....	5.19 A <sup>7</sup>	3. 通常由内部电路限制。	
IMX2177 .....	5.57 A <sup>7</sup>	4. 在距壳体1/16英寸处测量, 持续时间5秒。	
IMX2267 .....	5.92 A <sup>7</sup>	5. 最大漏极电压 (非重复脉冲) .....	-0.3V到750V
IMX2268 .....	6.24 A <sup>7</sup>	最大连续漏极电压 .....	-0.3V到650V
PowiGaN器件IMX2x78.....	6.5 A <sup>8</sup>	6. 最大漏极电压 (非重复脉冲) .....	-0.3V到1700V
PowiGaN器件IMX2x79.....	10 A <sup>8</sup>	最大连续漏极电压 .....	-0.3V到1360V
PowiGaN器件IMX2x70.....	14 A <sup>8</sup>	7. 当漏极电压同时低于400V时, 可允许更高的峰值漏极电流。	
PowiGaN器件IMX2353 .....	6.5 A	8. 有关最大电压和电流的对应关系, 请参见图21。	
V引脚电压.....	-0.3V到650V		
BPP/BPS引脚电压 .....	-0.3V到6V		
BPP引脚电流 .....	100mA		
FWD引脚电压.....	-1.5V到250V		
SR引脚电压.....	-0.3V到6V		
VCV1、VCV2/AS引脚电压.....	-0.3V到30V		
VCVHV/VLED引脚电压.....	-0.3V到250V		
CDR1、CDR2引脚电压 .....	-0.3V到6V		
DIM1、DIM2引脚电压.....	-0.3V到6V		
ISENSE引脚电压 .....	-0.3V到6V		
IDRIVE引脚电压 .....	-0.3V到6V		
VSENSE引脚电压 .....	-0.3V到250V		

## 热阻

热阻: IMX2267 – IMX2268 InSOP-24B		备注:	
( $\theta_{JA}$ ) .....	48°C/W <sup>2</sup> , 43°C/W <sup>3</sup>	1. 壳体温度在塑封体顶部测量。	
( $\theta_{JC}$ ) .....	1°C/W <sup>4,5</sup>	2. 焊在0.36平方英寸(232mm <sup>2</sup> )、2盎司(610g/m <sup>2</sup> )铺铜区域。	
IMX2278 – IMX2270 InSOP-T28B		3. 焊在1.0平方英寸(645mm <sup>2</sup> )、2盎司(610g/m <sup>2</sup> )铺铜区域。	
( $\theta_{JA}$ ) .....	71-60°C/W <sup>2,4</sup> , 63-55°C/W <sup>3,4</sup>	4. 最高热阻对应于具有最高初级开关 $R_{DS(ON)}$ 的控制器, 而对于具有较低 $R_{DS(ON)}$ 的控制器, 由于器件尺寸较大, 热阻会降低。	
( $\theta_{JC}$ ) .....	8-3°C/W <sup>2,4,5</sup>	5. 对于裸焊盘封装 (InSOP-24B、InSOP-T28B), $\theta_{JC}$ 测量到封装底部; 对于超模压封装 (InSOP-24D、InSOP-T28D和InSOP-T28G), 则测量到封装顶部。	
IMX2174 – IMX2177 InSOP-T28D			
( $\theta_{JA}$ ) .....	55-52°C/W <sup>2,4</sup> , 50-42°C/W <sup>3,4</sup>		
( $\theta_{JC}$ ) .....	10-7°C/W <sup>2,4,5</sup>		
IMX2378 – IMX2370 InSOP-T28D			
( $\theta_{JA}$ ) .....	71-68°C/W <sup>2,4</sup> , 65-57°C/W <sup>3,4</sup>		
( $\theta_{JC}$ ) .....	19-9°C/W <sup>2,4,5</sup>		
IMX2353 InSOP-T28G			
( $\theta_{JA}$ ) .....	71-68°C/W <sup>2</sup> , 65-57°C/W <sup>3</sup>		
( $\theta_{JC}$ ) .....	19-9°C/W <sup>2</sup>		

参数	符号	条件 源极 = 0V $T_j = -40^{\circ}\text{C}$ 到 $125^{\circ}\text{C}$ (除非另有说明)		最小值	典型值	最大值	单位
<b>控制功能</b>							
启动开关频率	$f_{\text{SW}}$	$T_j = 25^{\circ}\text{C}$		23	25	27	kHz
调制频率	$f_{\text{M}}$	$T_j = 25^{\circ}\text{C}$ $f_{\text{SW}} = 100\text{kHz}$		0.8	1.25	1.70	kHz
最大导通时间	$t_{\text{ON(MAX)}}$	$T_j = 25^{\circ}\text{C}$		12.4	14.6	16.9	$\mu\text{s}$
最小初级反馈阻断计时器	$t_{\text{BLOCK}}$					$t_{\text{OFF(MIN)}}$	$\mu\text{s}$
<b>BPP供电电流</b>	$I_{\text{S1}}$	$V_{\text{BPP}} = V_{\text{BPP}} + 0.1\text{V}$ (MOSFET不开关) $T_j = 25^{\circ}\text{C}$	IMX2174 – IMX2177, IMX2267 – IMX2268	145	200	300	$\mu\text{A}$
			IMX2x78、IMX2x79、 IMX2x70、IMX2353	145	266	425	
	$I_{\text{S2}}$	$V_{\text{BPP}} = V_{\text{BPP}} + 0.1\text{V}$ (MOSFET开关, 频率 $f_{\text{SREC}}$ ) $T_j = 25^{\circ}\text{C}$	IMX2174	0.44	0.58	0.83	mA
			IMX2175	0.59	0.79	1.10	
			IMX2176	0.77	1.02	1.38	
			IMX2177	0.90	1.20	1.73	
			IMX2267	0.77	1.03	1.38	
			IMX2268	0.90	1.20	1.75	
			IMX2x78 IMX2353		2.10		
IMX2x79		2.95					
IMX2x70		2.96					
<b>BPP引脚充电电流</b>	$I_{\text{CH1}}$	$V_{\text{BP}} = 0\text{V}, T_j = 25^{\circ}\text{C}$		-1.75	-1.35	-0.88	mA
	$I_{\text{CH2}}$	$V_{\text{BP}} = 4\text{V}, T_j = 25^{\circ}\text{C}$		-5.98	-4.65	-3.32	
<b>BPP引脚电压</b>	$V_{\text{BPP}}$	$T_j = 25^{\circ}\text{C}$	IMX2174 – IMX2177 IMX2267 – IMX2268	4.65	5	5.15	V
			IMX2x78、IMX2x79、 IMX2x70、IMX2353	4.65	5	5.20	
<b>BPP引脚电压滞回</b>	$V_{\text{BPP(H)}}$	$T_j = 25^{\circ}\text{C}$			0.39		V
<b>BPP分流电压</b>	$V_{\text{SHUNT}}$	$I_{\text{BPP}} = 2\text{mA}$		5.15	5.36	5.65	V
<b>BPP上电复位阈值电压</b>	$V_{\text{BPP(RESET)}}$	$T_j = 25^{\circ}\text{C}$		2.80	3.15	3.50	V
<b>UV/OV引脚电压缓升阈值</b>	$I_{\text{UV+}}$	$T_j = 25^{\circ}\text{C}$		23.6	25.8	28	$\mu\text{A}$
<b>UV/OV引脚电压跌落阈值</b>	$I_{\text{UV-}}$	$T_j = 25^{\circ}\text{C}$		20	23	24.5	$\mu\text{A}$
<b>电压跌落延迟时间</b>	$t_{\text{UV-}}$	$T_j = 25^{\circ}\text{C}$			35		ms
<b>UV/OV引脚输入过压阈值</b>	$I_{\text{OV+}}$	$T_j = 25^{\circ}\text{C}$		106	115	118	$\mu\text{A}$
<b>UV/OV引脚输入过压滞回</b>	$I_{\text{OV(H)}}$	$T_j = 25^{\circ}\text{C}$			7		$\mu\text{A}$

参数	符号	条件 源极 = 0V $T_j = -40^{\circ}\text{C}$ 到 $125^{\circ}\text{C}$ (除非另有说明)		最小值	典型值	最大值	单位
<b>控制功能 (续上)</b>							
<b>UV/OV</b> 引脚输入过压恢复 阈值	$I_{OV-}$	$T_j = 25^{\circ}\text{C}$		100			$\mu\text{A}$
<b>输入电压故障保护</b>							
<b>UV/OV</b> 引脚过压抗尖峰脉冲 滤波	$t_{OV+}$	$T_j = 25^{\circ}\text{C}$			3		$\mu\text{s}$
<b>电路保护</b>							
<b>标准电流限流点(BPP)</b> 电容 = <b>0.47<math>\mu\text{F}</math></b>	$I_{LIMIT}$	di/dt = 500mA/ $\mu\text{s}$ $T_j = 25^{\circ}\text{C}$	IMX2267C	1.84	2.0	2.16	A
		di/dt = 575mA/ $\mu\text{s}$ $T_j = 25^{\circ}\text{C}$	IMX2268C	2.08	2.3	2.52	
		di/dt = 650mA/ $\mu\text{s}$ $T_j = 25^{\circ}\text{C}$	IMX2278F	2.39	2.6	2.81	
		di/dt = 725mA/ $\mu\text{s}$ $T_j = 25^{\circ}\text{C}$	IMX2279F	2.63	2.9	3.19	
		di/dt = 848mA/ $\mu\text{s}$ $T_j = 25^{\circ}\text{C}$	IMX2270F	3.13	3.39	3.67	
		di/dt = 188mA/ $\mu\text{s}$ $T_j = 25^{\circ}\text{C}$	IMX2174F	0.697	0.750	0.803	
		di/dt = 288mA/ $\mu\text{s}$ $T_j = 25^{\circ}\text{C}$	IMX2175F	1.06	1.15	1.24	
		di/dt = 363mA/ $\mu\text{s}$ $T_j = 25^{\circ}\text{C}$	IMX2176F	1.33	1.45	1.57	
		di/dt = 400mA/ $\mu\text{s}$ $T_j = 25^{\circ}\text{C}$	IMX2177F	1.46	1.6	1.74	
		di/dt = 475mA/ $\mu\text{s}$ $T_j = 25^{\circ}\text{C}$	IMX2378F	1.77	1.9	2.03	
		di/dt = 550mA/ $\mu\text{s}$ $T_j = 25^{\circ}\text{C}$	IMX2379F	2.02	2.2	2.38	
		di/dt = 650mA/ $\mu\text{s}$ $T_j = 25^{\circ}\text{C}$	IMX2370F	2.35	2.6	2.85	
		di/dt = 475mA/ $\mu\text{s}$ $T_j = 25^{\circ}\text{C}$	IMX2353F	1.67	1.85	2.04	
<b>升高电流限流点(BPP)</b> 电容 = <b>4.7<math>\mu\text{F}</math></b>	$I_{LIMIT+1}$	di/dt = 575mA/ $\mu\text{s}$ $T_j = 25^{\circ}\text{C}$	IMX2267C	2.10	2.3	2.50	A
		di/dt = 650mA/ $\mu\text{s}$ $T_j = 25^{\circ}\text{C}$	IMX2268C	2.39	2.6	2.81	
		di/dt = 728mA/ $\mu\text{s}$ $T_j = 25^{\circ}\text{C}$	IMX2278F	2.63	2.91	3.19	
		di/dt = 813mA/ $\mu\text{s}$ $T_j = 25^{\circ}\text{C}$	IMX2279F	2.97	3.25	3.53	
		di/dt = 950mA/ $\mu\text{s}$ $T_j = 25^{\circ}\text{C}$	IMX2270F	3.48	3.8	4.12	
		di/dt = 238mA/ $\mu\text{s}$ $T_j = 25^{\circ}\text{C}$	IMX2174F	0.86	0.95	1.04	
		di/dt = 350mA/ $\mu\text{s}$ $T_j = 25^{\circ}\text{C}$	IMX2175F	1.27	1.4	1.53	
		di/dt = 413mA/ $\mu\text{s}$ $T_j = 25^{\circ}\text{C}$	IMX2176F	1.51	1.65	1.79	
		di/dt = 463mA/ $\mu\text{s}$ $T_j = 25^{\circ}\text{C}$	IMX2177F	1.69	1.85	2.01	
		di/dt = 525mA/ $\mu\text{s}$ $T_j = 25^{\circ}\text{C}$	IMX2378F	1.92	2.1	2.28	
		di/dt = 613mA/ $\mu\text{s}$ $T_j = 25^{\circ}\text{C}$	IMX2379F	2.24	2.45	2.66	

参数	符号	条件 源极 = 0V $T_J = -40^{\circ}\text{C}$ 到 $125^{\circ}\text{C}$ (除非另有说明)		最小值	典型值	最大值	单位
<b>电路保护 (续上)</b>							
升高电流限流点(BPP) 电容 = $4.7\mu\text{F}$	$I_{\text{LIMIT}+1}$	$di/dt = 725\text{mA}/\mu\text{s}$ $T_J = 25^{\circ}\text{C}$	IMX2370F	2.65	2.9	3.15	A
		$di/dt = 475\text{mA}/\mu\text{s}$ $T_J = 25^{\circ}\text{C}$	IMX2353F	1.86	2.05	2.23	
过载频率	$f_{\text{OVL}}$	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$	IMX2174 – IMX2177 IMX2267 – IMX2268 IMX2353	102	110	118	kHz
			IMX2x78、IMX2x79、 IMX2x70	148	155	161	
旁路引脚锁存关断阈值电流	$I_{\text{SD}}$	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$		6	7.5	11.3	mA
自动重新启动导通时间	$t_{\text{AR}}$	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$		75	82	89	ms
自动重新启动触发跳频时间	$t_{\text{AR(SK)}}$	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$ 见注释A			1.3		秒
自动重新启动关断时间	$t_{\text{AR(OFF)}}$	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$		1.7	2	2.11	秒
短自动重新启动关断时间	$t_{\text{AR(OFF)SH}}$	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$		0.17	0.2	0.23	秒
<b>输出</b>							
导通电阻	$R_{\text{DS(ON)}}$	IMX2174 $I_D = I_{\text{LIMIT}+1}$	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$		3.22	3.70	$\Omega$
			$T_J = 100^{\circ}\text{C}$		4.99	5.74	
		IMX2175 $I_D = I_{\text{LIMIT}+1}$	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$		1.95	2.24	
			$T_J = 100^{\circ}\text{C}$		3.02	3.47	
		IMX2176 $I_D = I_{\text{LIMIT}+1}$	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$		1.34	1.54	
			$T_J = 100^{\circ}\text{C}$		2.08	2.39	
		IMX2177 $I_D = I_{\text{LIMIT}+1}$	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$		1.20	1.38	
			$T_J = 100^{\circ}\text{C}$		1.86	2.14	
		IMX2267 $I_D = I_{\text{LIMIT}+1}$	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$		1.02	1.17	
			$T_J = 100^{\circ}\text{C}$		1.58	1.82	
		IMX2268 $I_D = I_{\text{LIMIT}+1}$	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$		0.86	0.99	
			$T_J = 100^{\circ}\text{C}$		1.34	1.55	
		IMX2x78 $I_D = I_{\text{LIMIT}+1}$	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$		0.52	0.68	
			$T_J = 100^{\circ}\text{C}$		0.78	1.02	
		IMX2x79 $I_D = I_{\text{LIMIT}+1}$	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$		0.35	0.44	
			$T_J = 100^{\circ}\text{C}$		0.49	0.62	
		IMX2x70 $I_D = I_{\text{LIMIT}+1}$	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$		0.29	0.39	
			$T_J = 100^{\circ}\text{C}$		0.41	0.54	
IMX2353 $I_D = I_{\text{LIMIT}+1}$	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$		0.52	待定			
	$T_J = 100^{\circ}\text{C}$		0.73	待定			

参数	符号	条件 源极 = 0V $T_J = -40^{\circ}\text{C}$ 到 $125^{\circ}\text{C}$ (除非另有说明)	最小值	典型值	最大值	单位	
<b>输出 (续上)</b>							
关断状态漏极漏电流	$I_{DSS1}$	$V_{BPP} = V_{BPP} + 0.1\text{V}$ $V_{DS} = 80\%$ 峰值漏极电压 $T_J = 125^{\circ}\text{C}$	IMX2x6x IMX2x7x		200	$\mu\text{A}$	
			IMX2353		200		
	$I_{DSS2}$	$V_{BPP} = V_{BPP} + 0.1\text{V}$ $V_{DS} = 325\text{V}$ $T_J = 25^{\circ}\text{C}$	IMX2x6x IMX2x7x		15		
			IMX2353		15		
漏极供电电压			50			V	
过温关断	$T_{SD}$	见注释A	135	142	150	$^{\circ}\text{C}$	
过温关断滞回	$T_{SD(H)}$			70		$^{\circ}\text{C}$	
<b>次级</b>							
最大次级频率	$f_{SREQ}$	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$	IMX2174 – IMX2177 IMX2267 – IMX2268 IMX2353	118	130	145	kHz
			IMX2x78、IMX2x79、 IMX2x70	164	180	194	
空载时的BPS引脚电流	$I_{SNL}$	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$		3.2		mA	
BPS引脚电压	$V_{BPS}$		4.9	5.0	5.15	V	
BPS引脚欠压阈值	$V_{BPS(UVLO)}$			3.0	3.3	V	
BPS引脚欠压滞回	$V_{BPS(HYS)}$	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$		1.0		V	
启动渐升时间	$t_{SS(RAMP)}$			76		ms	
最小关断时间	$t_{OFF(MIN)}$		IMX2174 – IMX2177 IMX2267 – IMX2268 IMX2353		3.2	$\mu\text{s}$	
			IMX2x78、IMX2x79、 IMX2x70		2.5		
BPS直接供电V <sub>CV1</sub> 范围	$V_{CV5V(BPS)}$		4.65	5.0	5.45	V	
BPS供电源阈值V <sub>CV1</sub>	$V_{BPS(VCV1)}$		7.4	7.9	9.3	V	
BPS供电源阈值V <sub>CV2</sub> /AS	$V_{BPS(VCV2)}$		5.3	5.5	5.8	V	
最小电压V <sub>CVHV</sub> /V <sub>LED</sub>	$V_{STAYALIVE}$		6.55	8.0	9	V	
关断阈值	$T_{SD(SEC)}$	见注释B		140		$^{\circ}\text{C}$	
<b>建议输出电压范围</b>							
V <sub>CV1</sub> 建议电压范围	$V_{CV1}$		3		25	V	
V <sub>CV2</sub> 建议电压范围	$V_{CV2}$		5		25	V	
V <sub>CVHV</sub> 建议电压范围	$V_{CVHV}$		9		53	V	

参数	符号	条件 源极 = 0V $T_J = -40^{\circ}\text{C}$ 到 $125^{\circ}\text{C}$ (除非另有说明)	最小值	典型值	最大值	单位
<b>建议输出电压范围 (续上)</b>						
<b>VLED建议电压范围</b>	$V_{LED}$		9		200	V
<b>反馈</b>						
反馈引脚调节电压	$V_{FB(REG)}$	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$	1.208	1.220	1.234	V
<b>VCV1/VCV2过压阈值</b>	$V_{FB(OVP)}$	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$		$V_{FB(REG)}$ 的 112%		V
<b>VCVHV过压阈值</b>	$V_{FB(OVP)VCVHV}$	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$		$V_{FB(REG)}$ 的 120%		V
<b>VLED过压阈值</b>	$V_{FB(OVP)VLED}$	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$		$V_{FB(REG)}$ 的 116%		V
低压分流器阈值	$V_{LV(SHUNT)}$	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$		$V_{FB(REG)}$ 的 104%		V
最大低压分流器电流	$I_{LV(SHUNT)}$			30		mA
高压分流器阈值	$V_{HV(SHUNT)}$		$V_{CVHV}$		$V_{FB(REG)}$ 的 104%	
			$V_{LED}$		$V_{FB(REG)}$ 的 108%	
最大高压分流器电流	$I_{HV(SHUNT)}$		$V_{CVHV}$		9	mA
			$V_{LED} < 50\text{V}$		8	mA
			$V_{LED} < 100\text{V}$		4.1	mA
			$V_{LED} < 150\text{V}$		3.3	mA
			$V_{LED} > 150\text{V}$		2.1	mA
反馈引脚短路	$V_{FB(OFF)}$	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$		48		mV
<b>LED控制</b>						
<b>PWM调光频率范围</b>	$PWM_{F(RANGE)}$		90		1000	Hz
滤波PWM调光频率范围	$FPWM_{F(RANGE)}$		90		30000	Hz
<b>PWM调光最小导通时间</b>	$t_{LED(ON)MIN}$			12		$\mu\text{s}$
<b>PWM调光最小关断时间</b>	$t_{LED(OFF)MIN}$	限制达到100%之前的最大占空比		1		$\mu\text{s}$
<b>DIM1/DIM2引脚数字输入 阈值</b>	$V_{IL}$				0.8	V
	$V_{IH}$		2.0			V
<b>DIM1引脚最大模拟 调光电压</b>	$V_{ADIM(MAX)}$			3.0		V
<b>DIM1引脚模拟调光 使能阈值</b>	$V_{ADIM(ENABLE)}$			100	120	mV



参数	符号	条件 源极 = 0V $T_j = -40^{\circ}\text{C}$ 到 $125^{\circ}\text{C}$ (除非另有说明)	最小值	典型值	最大值	单位
<b>LED控制 (续上)</b>						
DIM1引脚模拟调光禁止阈值	$V_{\text{ADIM(DISABLE)}}$		40	50		mV
ISENSE引脚电压	$V_{\text{ISENSE}}$	DIM1引脚 = $V_{\text{ADIM(MAX)}}$ (ADIM) DIM1引脚 = 100%占空比(FPWM) $T_j = 25^{\circ}\text{C}$	98	100	102	mV
		DIM1引脚 = $V_{\text{ADIM(MAX)}}$ 的10% (ADIM) DIM1引脚 = 10%占空比(FPWM) $T_j = 25^{\circ}\text{C}$	8	10	12	mV
IDRIVE引脚饱和和检测	$V_{\text{IDRIVE(SAT)}}$	$T_j = 25^{\circ}\text{C}$		BPS的85%		V
VSENSE引脚对VLED引脚短路检测阈值	$V_{\text{SENSE(FAULT)}}$	$T_j = 25^{\circ}\text{C}$		$V_{\text{LED}}$ 的97% $V_{\text{LED}}$		V
<b>选通MOSFET</b>						
CDR1/CDR2引脚驱动电压	$V_{\text{CDR}}$			BPS		V
CDR1/CDR2引脚上拉电阻		$T_j = 25^{\circ}\text{C}$	4.75	5.4	5.8	$\Omega$
CDR1/CDR2引脚下拉电阻		$T_j = 25^{\circ}\text{C}$	4.75	5.4	6.5	$\Omega$
刷新脉冲宽度	$T_{\text{REFRESH}}$	注: 启动期间增加一倍		500		ns
<b>同步整流管</b>						
SR引脚驱动电压	$V_{\text{SR}}$			BPS		V
SR FWD引脚调节目标	$V_{\text{FWD(REG)}}$			-40	-85	mV
SR引脚上拉速度	$I_{\text{SR(PU)}}$	$T_j = 25^{\circ}\text{C}$ $C_{\text{LOAD}} = 2\text{nF}$ $V_{\text{FWD(REG)}} - V_{\text{FWD}} = +40\text{mV}$		10		V/ $\mu\text{s}$
SR引脚下拉速度	$I_{\text{SR(PD)}}$	$T_j = 25^{\circ}\text{C}$ $C_{\text{LOAD}} = 2\text{nF}$ $V_{\text{FWD(REG)}} - V_{\text{FWD}} = -30\text{mV}$		-10		V/ $\mu\text{s}$
上升时间	$t_{\text{R}}$	$T_j = 25^{\circ}\text{C}$ $C_{\text{LOAD}} = 2\text{nF}$	10-90%		50	ns
下降时间	$t_{\text{F}}$	$T_j = 25^{\circ}\text{C}$ $C_{\text{LOAD}} = 2\text{nF}$	10-90%		25	ns
输出上拉电阻	$R_{\text{PU}}$	$T_j = 25^{\circ}\text{C}$ $V_{\text{BPS}} = 5.0\text{V}$ $I_{\text{SR}} = 5\text{mA}$	6	7.9	9	$\Omega$
输出下拉电阻	$R_{\text{PD}}$	$T_j = 25^{\circ}\text{C}$ $V_{\text{BPS}} = 5.0\text{V}$ $I_{\text{SR}} = 5\text{mA}$	6	7.8	9	$\Omega$

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值, 建议使用0.47 $\mu$ F/4.7 $\mu$ F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。

BPP引脚额定电容值	BPP电容最小值	公差最大值
0.47 $\mu$ F	-60%	+100%
4.7 $\mu$ F	-50%	不适用

建议至少使用10V/0805/X7R贴片MLCC电容。

## 典型性能曲线

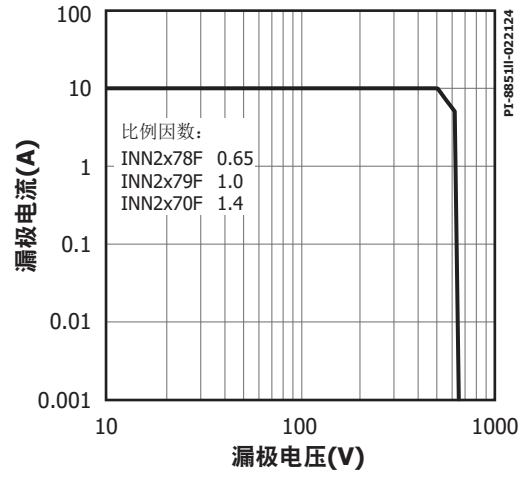
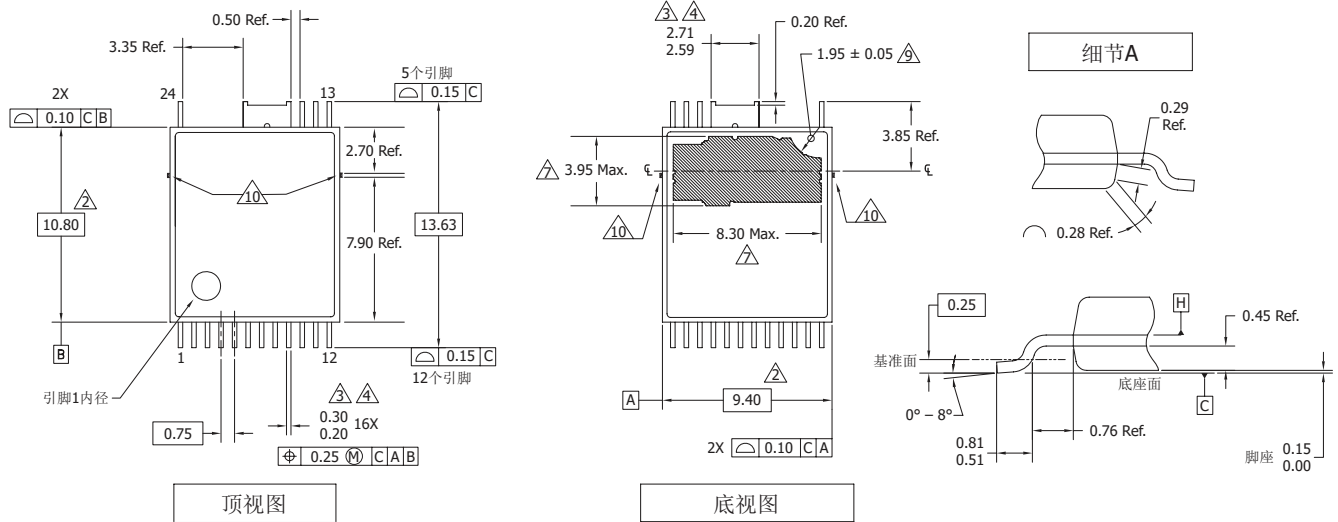


图 21. 最大允许的漏极电流相对于漏极电压的变化  
(PowiGaN器件INN2x78F、INN2x79F和INN2x70F)

InSOP-24B (C封装)

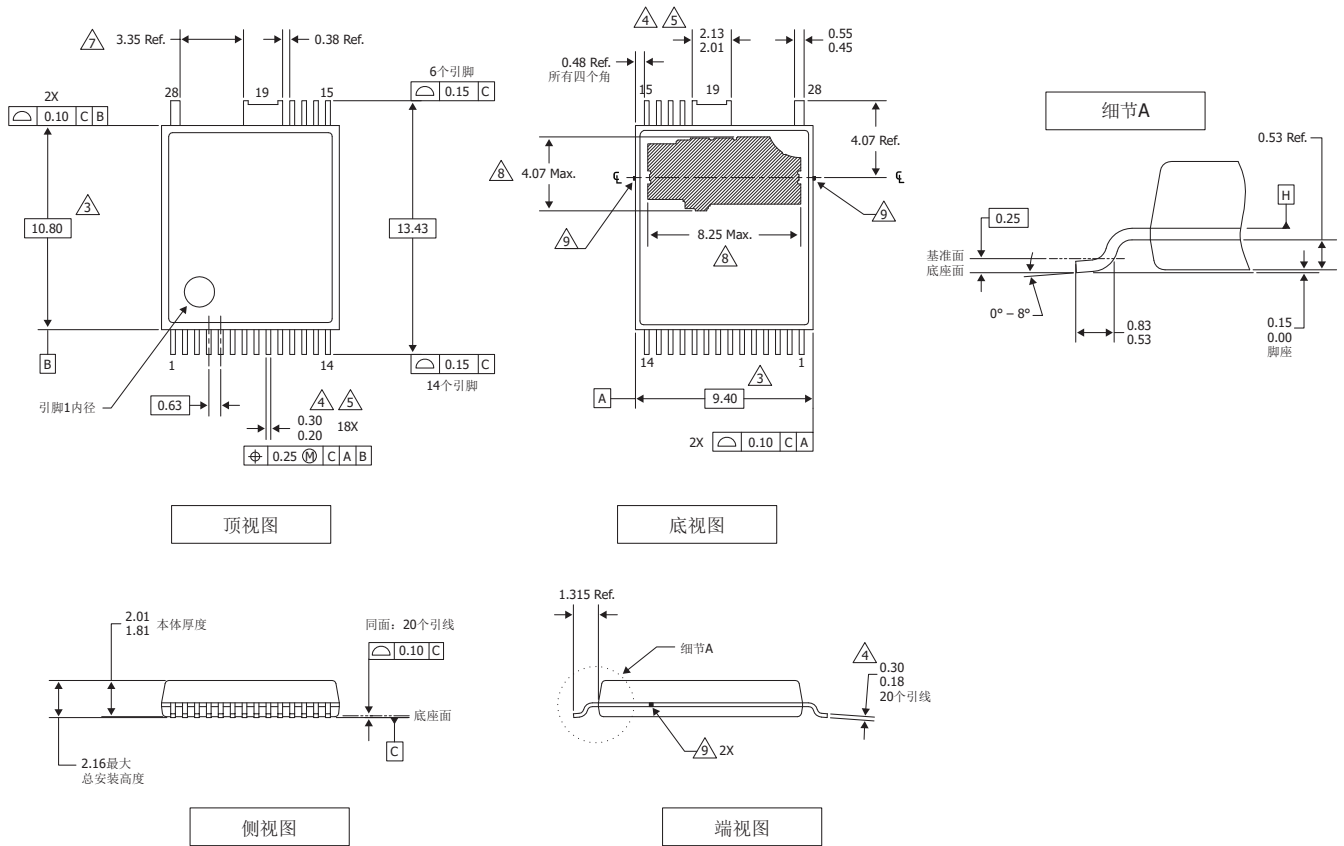


注释:

1. 尺寸及公差标注依据ASME Y14.5M1994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。
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. 控制尺寸是以毫米(mm)为单位。
6. 基准A及B将在基准面H决定。
7. 裸焊盘的最小和最大尺寸同时包括大小和位置公差。
8. 所示为裸焊盘隐藏的端视图, 用于说明爬电尺寸。
9. 爬电距离尺寸包括塑封体侧面轮廓尺寸, 如细节A所示。
10. 裸露金属连接杆的位置: 如图所示, 封装两端各一个。与裸露焊盘和宽引脚进行电气连接。

PI-8105-122720  
POD-InSOP-24B Rev D

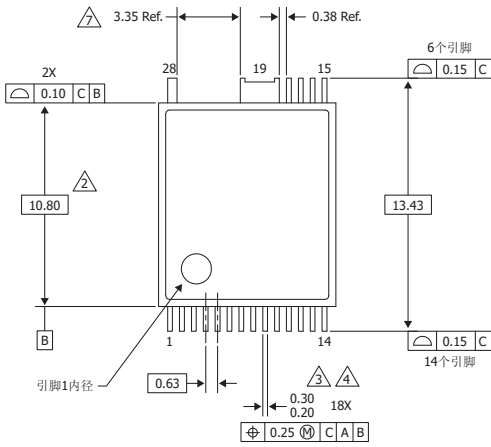
InSOP-T28B (F封装)



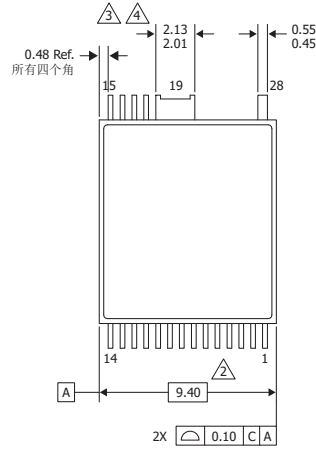
- 注释:
1. 尺寸以毫米(mm)为单位。
  2. 尺寸及公差标注依据ASME Y14.5M-1994标准。
  3. 标注的尺寸根据塑料体的最末端确定, 不包括模具毛边、连接杆毛刺、料口毛刺和引脚间毛边, 但包括塑料体顶部与底部之间的任何偏差。每侧的塑模突起不超过0.18。
  4. 标注的尺寸包括镀层厚度。
  5. 不包括管脚间毛边或突起。
  6. 基准A及B将在基准面H决定。
  7. 该尺寸是引脚之间的标称尺寸, 不包括镀层, 也不包括金属突起。最小金属间距离(爬电距离)为3.20mm。
  8. 裸焊盘的最大尺寸同时包括大小和位置公差。
  9. 裸露金属连接杆的位置: 如图所示, 封装两端各一个。与裸露焊盘和宽引脚进行电气连接。

PI-9730-031224  
 POD-inSOP-T28B Rev A  
 POD-inSOP-T28B\_A\_032823

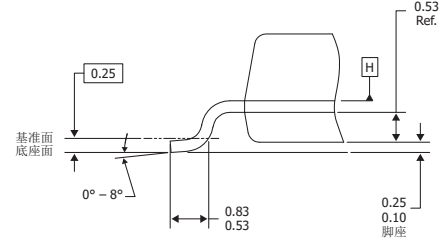
InSOP-T28D (F封装)



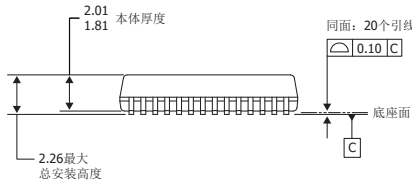
顶视图



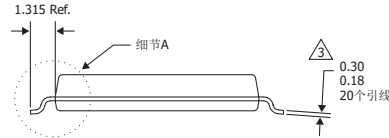
底视图



细节A



侧视图



端视图

注释:

1. 尺寸及公差标注依据ASME Y14.5M1994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。

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. 控制尺寸是以毫米(mm)为单位。

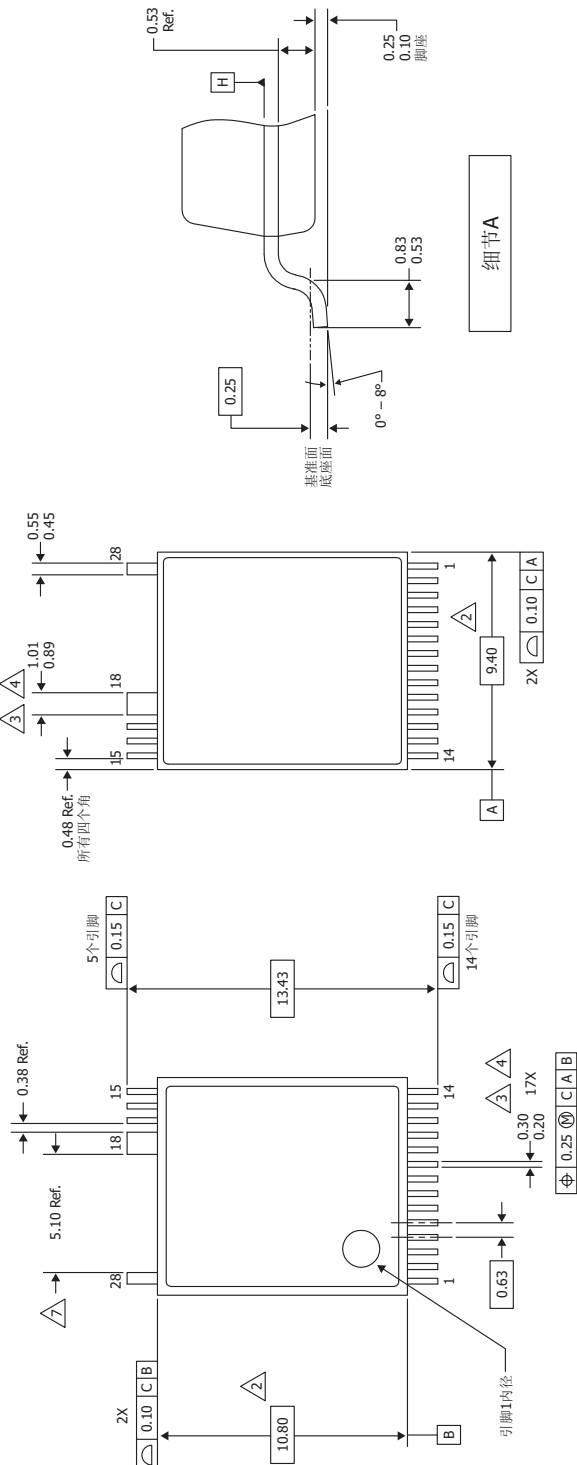
6. 基准A及B将在基准面H决定。

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3.20mm。

PI-9406-031224  
POD-inSOP-T28D Rev B

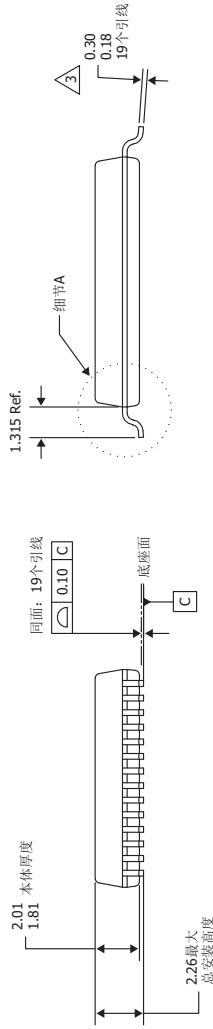
POD-inSOP-T28D\_B\_032623

## InSOP-T28G



顶视图

底视图



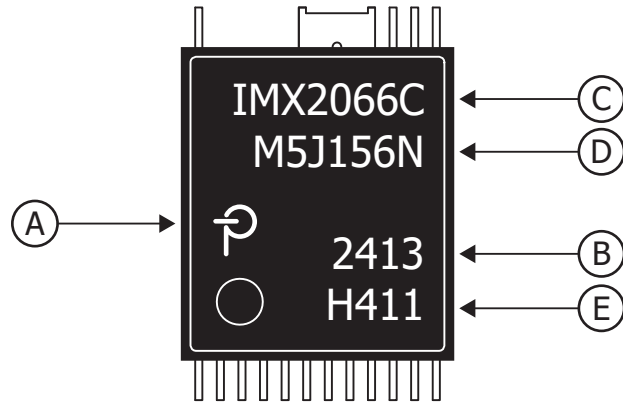
侧视图

端视图

- 注释:
1. 尺寸及公差标注依据ASME Y14.5M11994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。每侧的塑料突起不超过0.18。
  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. 控制尺寸是以毫米(mm)为单位。
  6. 基准A及B将在基准面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4.95 mm。

## 封装标识

## InSOP-24B

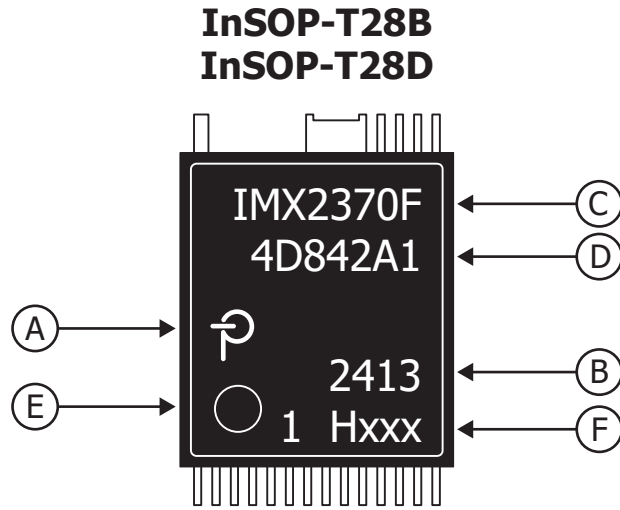


- A. Power Integrations 注册商标
- B. 封装日期代码（表明年份的两个数字后紧跟表明周数的两个数字）
- C. 产品识别（元件号/封装类型）
- D. 批次识别代码
- E. 测试子批次和特性代码

PI-8617a-032824



## 封装标识

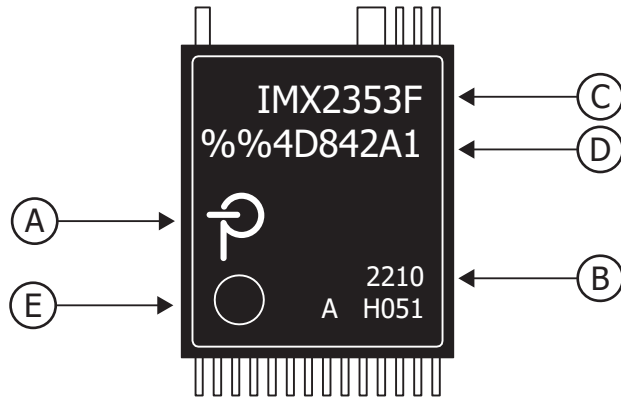


- A. Power Integrations 注册商标
- B. 封装日期代码（表明年份(YY)的两个数字后紧跟表明周数的两个数字）
- C. 产品识别（元件号/封装类型）
- D. 批次识别代码
- E. 引脚1指示
- F. 供应链流程（代工厂/装配地点(X)）和特性代码

PI-9756a-032824

## 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（元件号/封装类型）
- D. 批次识别代码
- E. 引脚1指示

PI-9750a-080524

## 特性代码表 (仅IMX2353F)

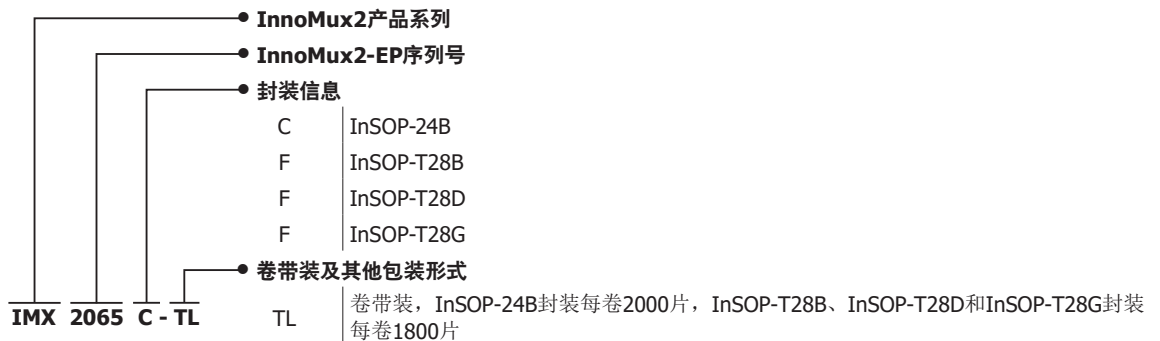
特性代码	H415
输出配置	2组CV输出
反馈电阻	外部
$I_{LIM}$ 可外部设定	IMX2353: $I_{LIM} = 1.85/I_{LIM} = 2.05A$
初级故障响应	自动重新启动
次级故障响应	自动重新启动
自动重新启动	$V_{OUT(AR)} = V_{OUT(NOM)}$ 的90%

型号	MSL等级
IMX2267C	3
IMX2268C	3
IMX2278F	3
IMX2279F	3
IMX2270F	3
IMX2174F	3
IMX2175F	3
IMX2176F	3
IMX2177F	3
IMX2378F	3
IMX2379F	3
IMX2370F	3
IMX2353F	3

## ESD及门锁信息

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



修订版本	注释	日期
B	生产发布。第2页上的功率对照表已更新，包含PFC输入的输出功率；表2包含可选特性。	06/24
C	新增了IMX2353F 1700V器件。	10/24

### 有关最新产品信息，请访问：[www.power.com](http://www.power.com)

Power Integrations reserves the right to make changes to its products at any time to improve reliability or manufacturability. Power Integrations does not assume any liability arising from the use of any device or circuit described herein. POWER INTEGRATIONS MAKES NO WARRANTY HEREIN AND SPECIFICALLY DISCLAIMS ALL WARRANTIES INCLUDING, WITHOUT LIMITATION, THE IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, AND NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY RIGHTS.

### Patent Information

The products and applications illustrated herein (including transformer construction and circuits external to the products) may be covered by one or more U.S. and foreign patents, or potentially by pending U.S. and foreign patent applications assigned to Power Integrations. A complete list of Power Integrations patents may be found at [www.power.com](http://www.power.com). Power Integrations grants its customers a license under certain patent rights as set forth at <https://www.power.com/company/intellectual-property-licensing/>.

### Life Support Policy

POWER INTEGRATIONS PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF POWER INTEGRATIONS. As used herein:

1. A Life support device or system is one which, (i) is intended for surgical implant into the body, or (ii) supports or sustains life, and (iii) whose failure to perform, when properly used in accordance with instructions for use, can be reasonably expected to result in significant injury or death to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

Power Integrations, the Power Integrations logo, CAPZero, ChiPhy, CHY, DPA-Switch, EcoSmart, E-Shield, eSIP, eSOP, HiperLCS, HiperPLC, HiperPFS, HiperTFS, InnoSwitch, Innovation in Power Conversion, InSOP, LinkSwitch, LinkZero, LYTSwitch, SENZero, TinySwitch, TOPSwitch, PI, PI Expert, PowiGaN, SCALE, SCALE-1, SCALE-2, SCALE-3 and SCALE-iDriver, are trademarks of Power Integrations, Inc. Other trademarks are property of their respective companies. ©2023, Power Integrations, Inc.

### Power Integrations全球销售支持网络

#### 全球总部

5245 Hellyer Avenue  
San Jose, CA 95138, USA  
Main: +1-408-414-9200  
Customer Service:  
Worldwide: +1-65-635-64480  
Americas: +1-408-414-9621  
e-mail: [usasales@power.com](mailto:usasales@power.com)

#### 中国（上海）

徐汇区漕溪北路88号圣爱广场  
1601-1603室  
上海|中国, 200030  
电话: +86-21-6354-6323  
电子邮箱: [chinasales@power.com](mailto:chinasales@power.com)

#### 中国（深圳）

南山区科技南八路二号豪威科技大厦  
17层  
深圳|中国, 518057  
电话: +86-755-8672-8689  
电子邮箱: [chinasales@power.com](mailto:chinasales@power.com)

#### 德国

(AC-DC/LED/电机控制销售)  
Einsteinring 37  
85609 Dornach/Aschheim  
Germany  
Tel: +49-89-5527-39100  
e-mail: [eurossales@power.com](mailto:eurossales@power.com)

#### 德国（门极驱动器销售）

HellwegForum 3  
59469 Ense  
Germany  
Tel: +49-2938-64-39990  
e-mail: [igbt-driver.sales@power.com](mailto:igbt-driver.sales@power.com)

#### 印度

#1, 14th Main Road  
Vasanthanagar  
Bangalore-560052 India  
Phone: +91-80-4113-8020  
e-mail: [indiasales@power.com](mailto:indiasales@power.com)

#### 意大利

Via Milanese 20, 3rd. Fl.  
20099 Sesto San Giovanni (MI) Italy  
Phone: +39-024-550-8701  
e-mail: [eurossales@power.com](mailto:eurossales@power.com)

#### 日本

Yusen Shin-Yokohama 1-chome Bldg.  
1-7-9, Shin-Yokohama, Kohoku-ku  
Yokohama-shi,  
Kanagawa 222-0033 Japan  
Phone: +81-45-471-1021  
e-mail: [japansales@power.com](mailto:japansales@power.com)

#### 韩国

RM 602, 6FL  
Korea City Air Terminal B/D, 159-6  
Samsung-Dong, Kangnam-Gu,  
Seoul, 135-728, Korea  
Phone: +82-2-2016-6610  
e-mail: [koreasales@power.com](mailto:koreasales@power.com)

#### 新加坡

51 Newton Road  
#19-01/05 Goldhill Plaza  
Singapore, 308900  
Phone: +65-6358-2160  
e-mail: [singaporesales@power.com](mailto:singaporesales@power.com)

#### 台湾地区

5F, No. 318, Nei Hu Rd., Sec. 1  
Nei Hu Dist.  
Taipei 11493, Taiwan R.O.C.  
Phone: +886-2-2659-4570  
e-mail: [taiwansales@power.com](mailto:taiwansales@power.com)

#### 英国

Building 5, Suite 21  
The Westbrook Centre  
Milton Road  
Cambridge  
CB4 1YG  
Phone: +44 (0) 7823-557484  
e-mail: [eurossales@power.com](mailto:eurossales@power.com)