

参考文献:LD7593AX/DA 应用手册及 IC 规格书

1. 功率因素修正电路 PFC(Power Factor Correction)背景说明

功率因素 (Power Factor) 定义为电源系统的输入实功率与视在功率 (有效功率加上无效功率) 的比值, 主要表示的是电力系统的利用率, 越接近 1 则表示无效功率 (Reactive Power) 越低, 利用率越高。对于供电端, 例如电厂等来说, 功率因子越高, 则能源使用效率越好。因此, 自 2001 年 1 月 1 日起, 欧盟正式对电子设备谐波(Harmonics)有详细规范, 规定电源输入 75W 以上电子设备产品, 都必须通过[EN61000-3-2 (Power Line Harmonics)]谐波测试, 已在所有欧洲国家生效, 所有相关产品输入欧洲地区市场必须符合标准。

PFC 分成主动式 (Active) PFC 与被动式 (Passive) PFC 两种, 主要是依据控制 PFC 的组件特性来区分。

一、被动式 (Passive) PFC:

使用被动式组件, 采用硅钢片形式电感补偿方法通过使交流输入的基波电流与电压之间相位差减小来提高功率因数。被动式 PFC 的功率因数不是很高, 只能达到 0.7~0.8, 因此其效率也比较低, 发热量也比较大。缺点为输出功率越大的电源供应器, 所需要的硅钢片形式电感体积越大, 也导致应用范围受限, 被动式 (Passive) PFC 电路示意如图 1。

矽鋼片電感

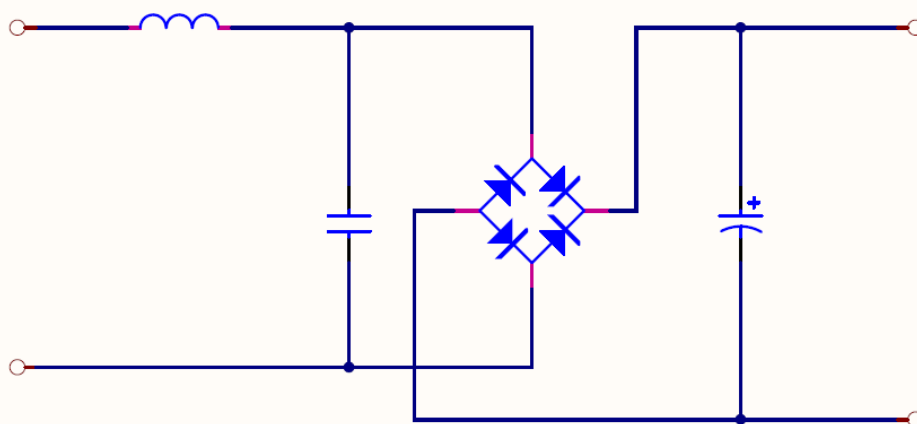


图 1 被动式 (Passive) PFC 电路

二、主动式 (Active) PFC:

主动式组件由 PFC 电感，二极管，开关组成升压电路，主动式 PFC 电路示意如图 2，体积跟重量较被动式轻的多，因此打破了电源供应器重的一定比较好的传统观念。通嘉科技在主动式 PFC 控制器已深耕多年，在 TV, Monitor, Networking, Notebook...带 PFC 的电源都有非常成熟的量产经验，在主动式 PFC 控制器持续研发创新。

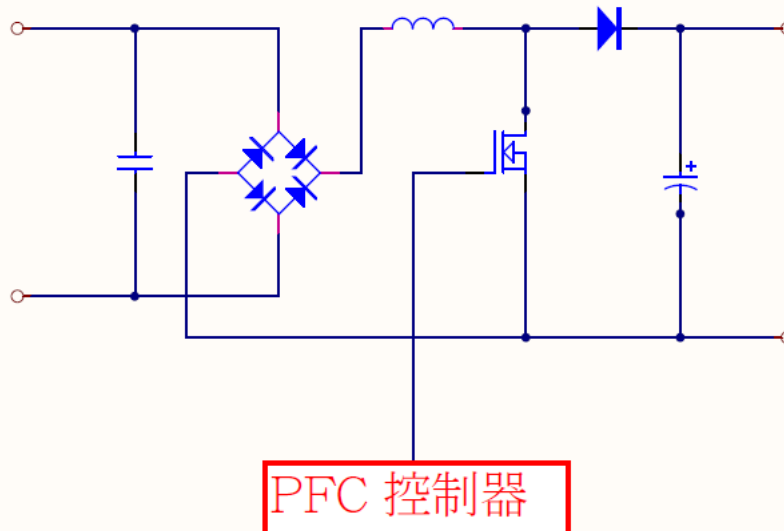


图 2 主动式 (Active) PFC 电路

2. 主动式 PFC 控制器工作模式说明

PFC 工作模式依据 PFC 电感电流可分为三种型态：非连续导通模式(DCM) 临界导通模式(CRM)也称为转换模式(TM)和连续导通模式(CCM)。DCM, TM 与 CCM 操作模式最主要的差异为 DCM 与 TM 的电感电流在同个周期中皆会放到零, CCM 的电感电流会持续至下个周期。由于 TM 操作模式效率较单纯 DCM 高, 所以一般 PFC 常用的工作模式为 TM 和 CCM。TM 操作模式具有成本低廉, 功率组件应力较小, 轻载效率较佳, 在 300W 以下的电源广泛的应用, 为通嘉 LD7593 采用的工作模式, 比较件表 1。

模式	特色	优点	缺点
DCM	1. 零电流切换 2. 固定频率 3. PFC 电感感量低	1. 成本便宜 2. 无二极管反向恢复时间	1. 传导损失较大 2. 电感电流大 3. 总谐波失真(THD)较差
CRM / TM	1. 零电流切换 2. 固定频率导通时间, 3. 变频	1. 成本便宜 2. 效率较 DCM 佳 3. 无二极管反向恢复时间	1. 传导损失较大 2. 电感电流大
CCM	1. 无零电流切换 2. 固定频率 3. PFC 电感感量高 4. 开关模式硬切	1. 功率较大 2. 电磁干扰(EMI)较佳 3. 纹波电流较小	1. 开关损失较大 2. 成本较贵 3. 功率组件应力大
表 1 PFC 三种工作模式比较			

3. 通嘉 PFC 控制器技术特点说明

从最早推出的 Transition-Mode PFC 控制器 LD7591 如图 3, 到第二代采用负电流侦测无需辅助绕组的 LD7592 如图 4, 到最新推出的 SOT-26 封装的 LD7593 如图 3, 同样不需要辅助绕组, 通嘉 PFC Controller 持续往高效能及电路优化的方

向前进。

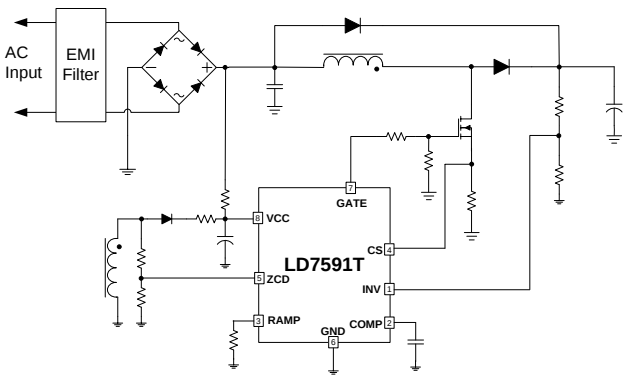


图 3 LD7591 控制器电路

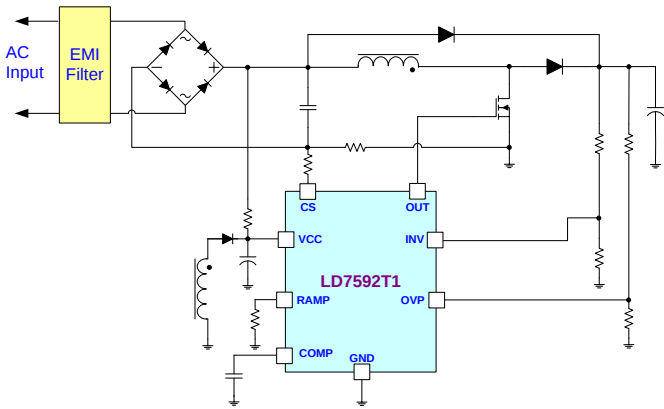


图 4 LD7592 控制器电路

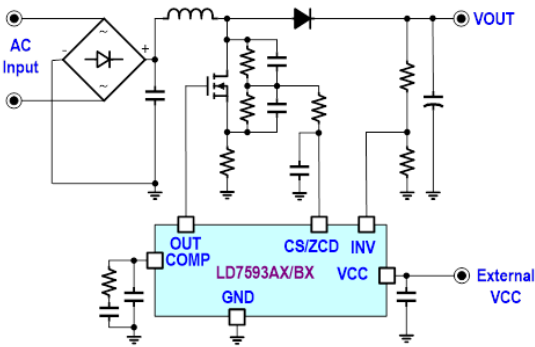


图 5 LD7593 控制器电路

LD7593 为符合各种不同应用，提供两种封装 LD7593AX(SOP-26)如图 6 及 LD7593DA(SOP-8) 如图 7,具有辅助绕组侦测零电流,可沿用带有辅助绕组的 PFC 电感，不需要重新设计电感，对于成本优化及新设计可使用 LD7593AX (SOP-26) 达到成本优化的特色，不同封装提供灵活且实用的选择。

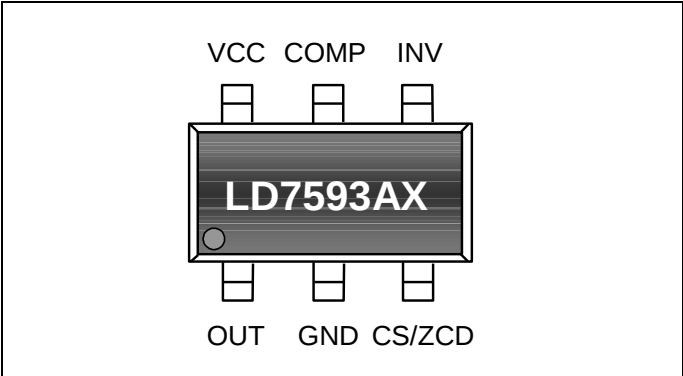


图 6 LD7593AX(SOP-26)封装

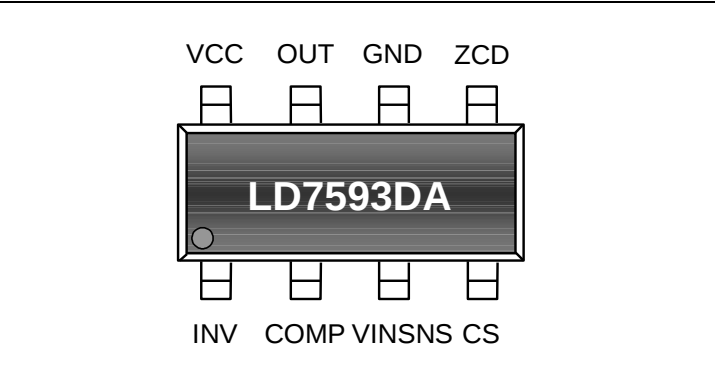


图 7 LD7593DA(SOP-8)封装

LD7593AX 电路功能说明如图 8 及 IC Pin 脚功能应用说明如表 2

LD7593DA 电路功能说明如图 9 及 IC Pin 脚功能应用说明如表 3

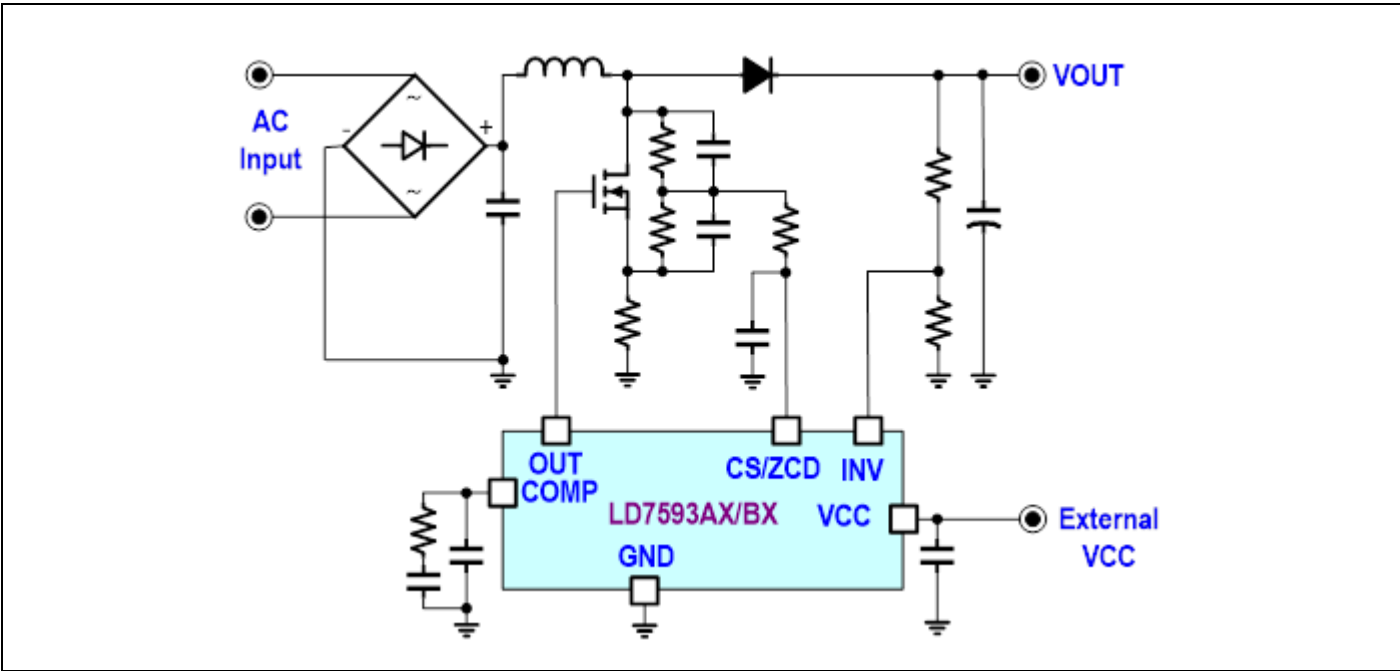


图 8 LD7593AX 电路功能说明

Pin	NAME	应用说明
1	OUT	MOSFET driver output, Source=700mA, Sink=-300mA
2	GND	IC Ground
3	CS/ZCD	过电流检测 Cycle by Cycle Current Limit(OCP)及零电流检测功能

4	INV	PFC 输出电压回授, 参考电压=2.5V
5	COMP	误差放大器的输出用于电压环路补偿
6	VCC	Vcc_ON=16V,Vcc_off=7.5V, OVP=28V
表 2 LD7593AX Pin 脚功能应用说明		

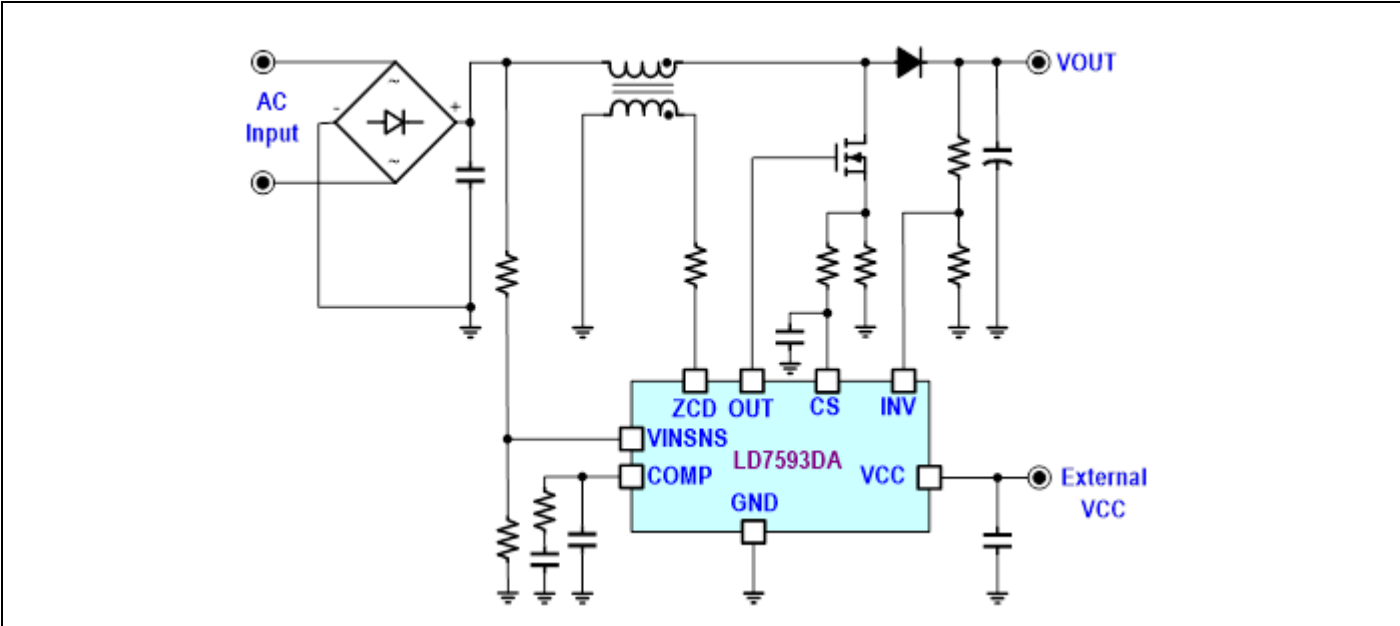


图 9 LD7593DA 电路功能说明

Pin	NAME	应用说明
1	INV	PFC 输出电压回授, 参考电压=2.5V
2	COMP	误差放大器的输出用于电压环路补偿
3	VINSNS	输入电压检测
4	CS	PFC 输出电压回授, 参考电压=2.5V
5	ZCD	零电流检测功能
6	GND	IC Ground
7	OUT	MOSFET driver output, Source=700mA, Sink=-300mA
8	VCC	Vcc_ON=16V,Vcc_off=7.5V, OVP=28V

表 3 LD7593DA Pin 脚功能应用说明

4. 通嘉 PFC Controller(LD7593)技术特点说明

- A. 超低启动电流, 小于 1uA, 启动速度快且节能。
- B. 电压模式控制。
- C. LD7593AX: 无需额外 ZCD Winding 检测零电流 Turn on
- D. 第一阶过电压保护(1st Over Voltage Protection)on INV pin
- E. LD7593AX: 第二阶过电压保护(1nd Over Voltage Protection)on CS/ZCD pin。
- F. Cycle by Cycle Current Limit
- G. 1st , 2nd , 3rd , 4th ,....谷底切换导通, 达到效率与开关组件应力优化。
- H. 轻载降频功能, 提升轻载效率。
- I. LD7593DA: 输入电压检测, 切换高低压 On time, 优化高压 PF 值。
- J. LD7593DA: 预设四个最大 On time 档位供选择, 应对不同系统瓦特数。
- K. Driving 能力 Source=700mA, Sink=-300mA, with 33nF @ OUT
- L. 内建过温度保护(INT. OTP)

4.1 LD7593 各 Pin 脚保护功能

LD7593 针对不同 Pin 脚设置了完整的保护功能，以确保产品的可靠度，以避免造成损伤，LD7593AX 保护功能如图 10，LD7593DA 保护功能如图 11。

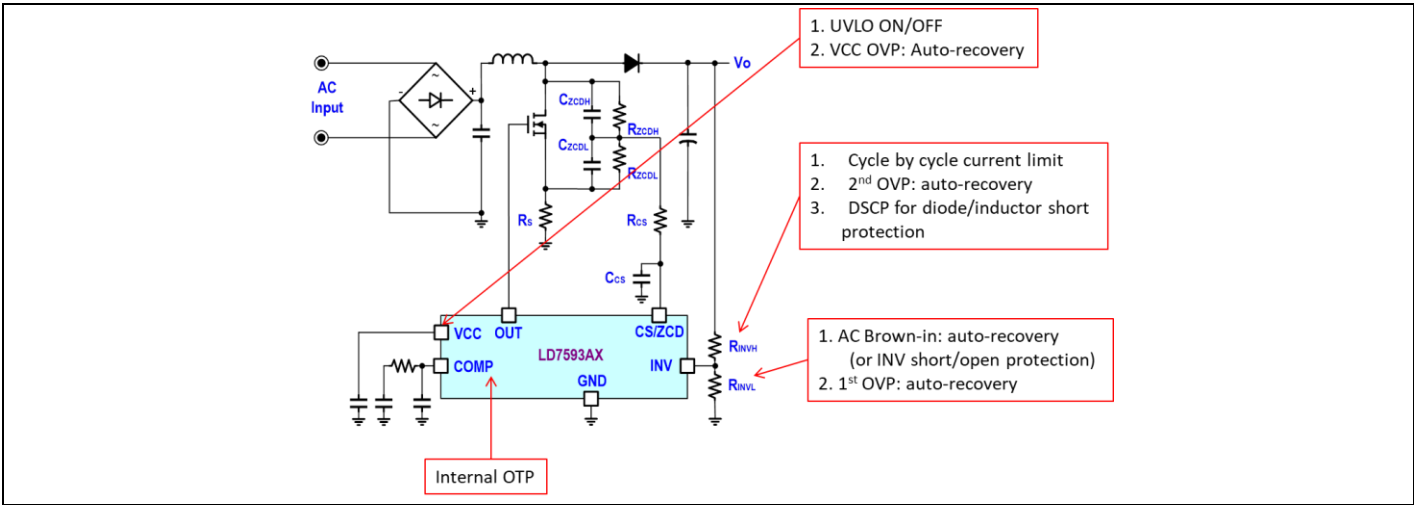


图 10 LD7593AX 保护功能

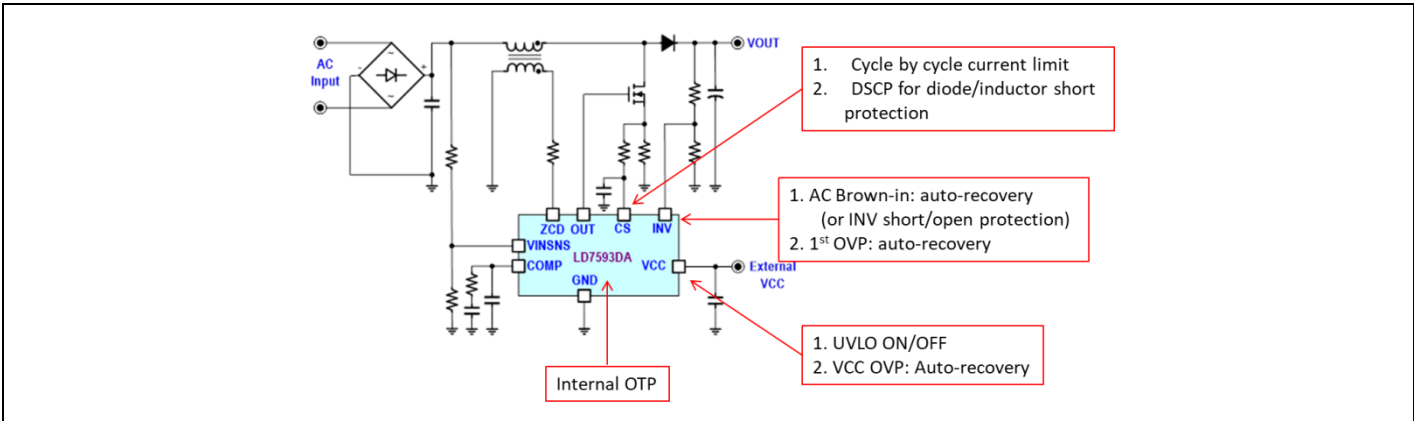


图 11 LD7593DA 保护功能

4.2 Fixed Turn-On Time Control 控制模式

控制方式使用误差放大器的输出和斜坡产生器模块的输出来进行比较，决定 PFC MOSFET 的导通时间，达到固定导通时间控制(Fixed Turn-On Time Control) ， GM 放大器的输出电流会根据放大器反相输入端和参考电压 2.5V 差而变化，驱动关闭条件 GM 放大器的输出电压(Vcomp)与内部产生锯齿波进行比较，当 Vcomp 上升时驱动导通时间增加，当 Vcomp 下降时导通时间减少如图 12。

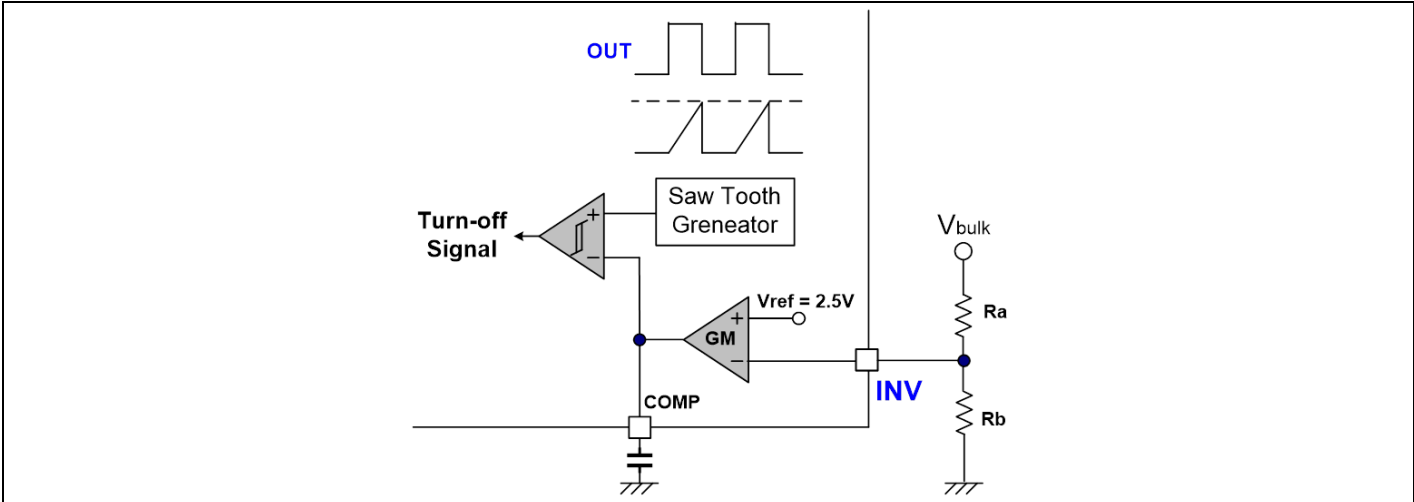


图 12 Fixed Turn-on Time Control

由于为固定导通时间控制，交流输入不论在波峰还是波谷，导通时间皆为固定，如图 13，14。

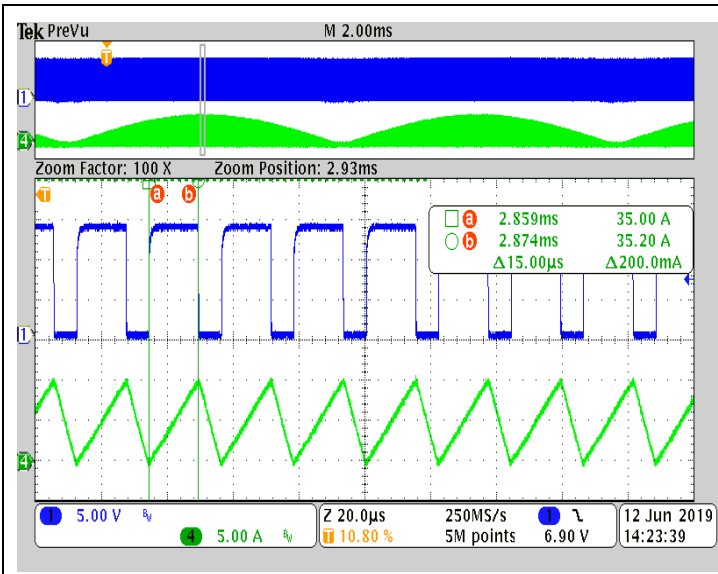


图 13 AC 输入波峰波形

Ch1:驱动波形 Ch2:电感电流

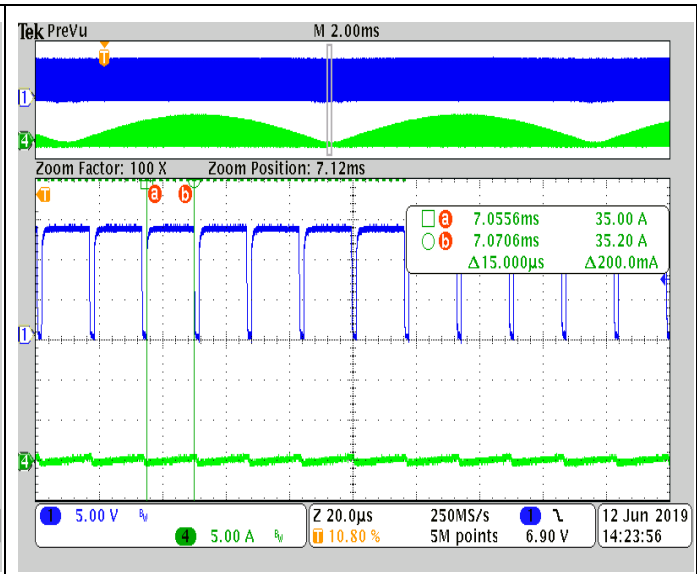


图 14 AC 输入波谷波形

Ch1:驱动波形 Ch2:电感电流

4.3 LD7593 工作频率说明

对于 Transition-Mode PFC，开关频率是变动的，并且随着负载的减少，电感放电时间速度快，导通时间固定的情况下，工作频率变快。为了在整个输出负载范围内获得良好的效率效能，LD7593 实施了频率限制曲线，以减少轻负载时高开关频率造成的额外损耗。频率限制曲线如图 15 所示，并在极轻载及空载的条件下进入 Burst Mode，降低开关切换造成的效率损失，如图 16 所示。

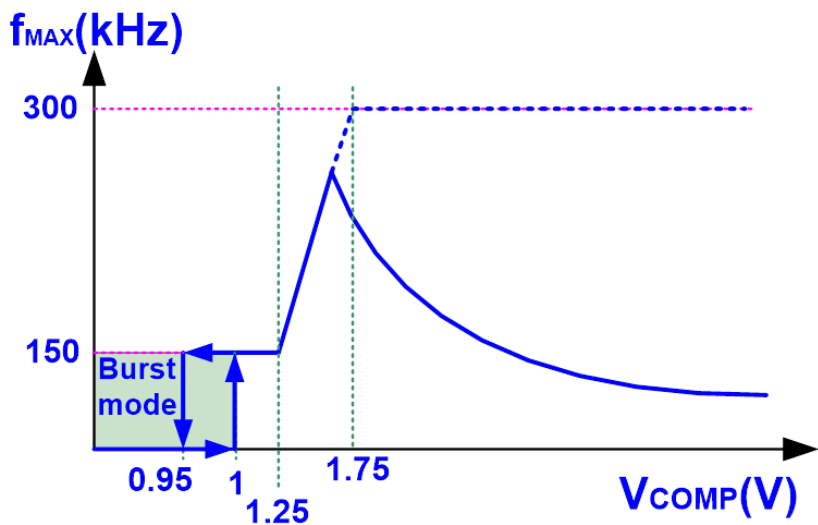


图 15 LD7593AX 频率限制曲线

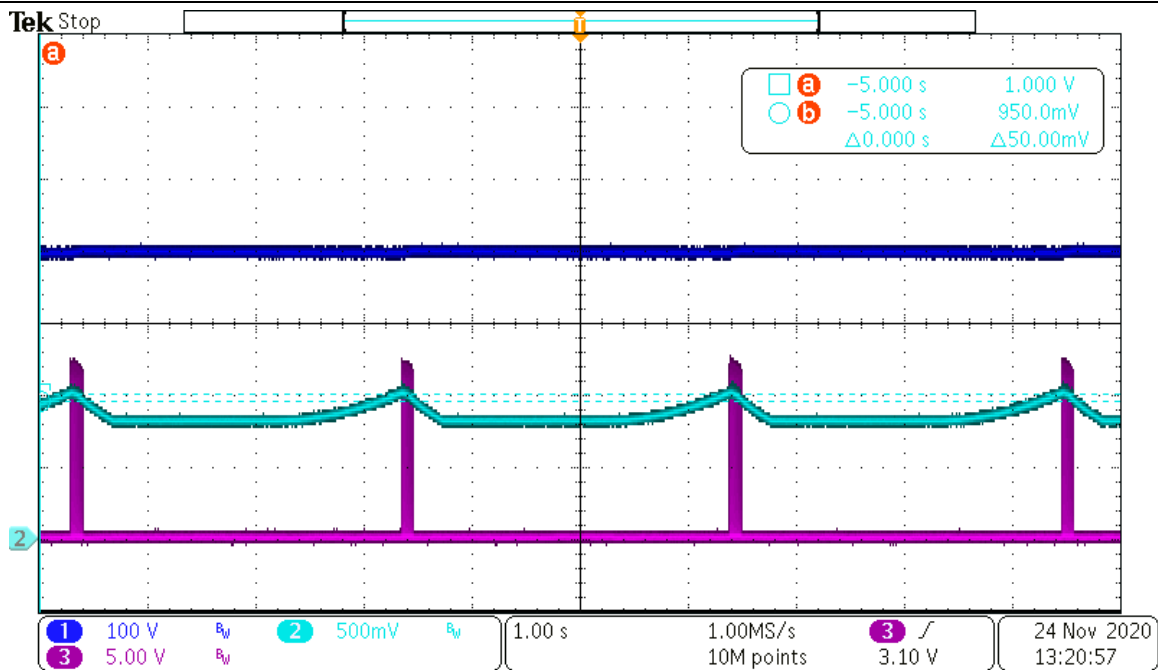


图 16 Burst Mode, Ch1:输出 Ch2:VCOMP Ch3: 驱动波形

4.4 INV Pin 功能说明

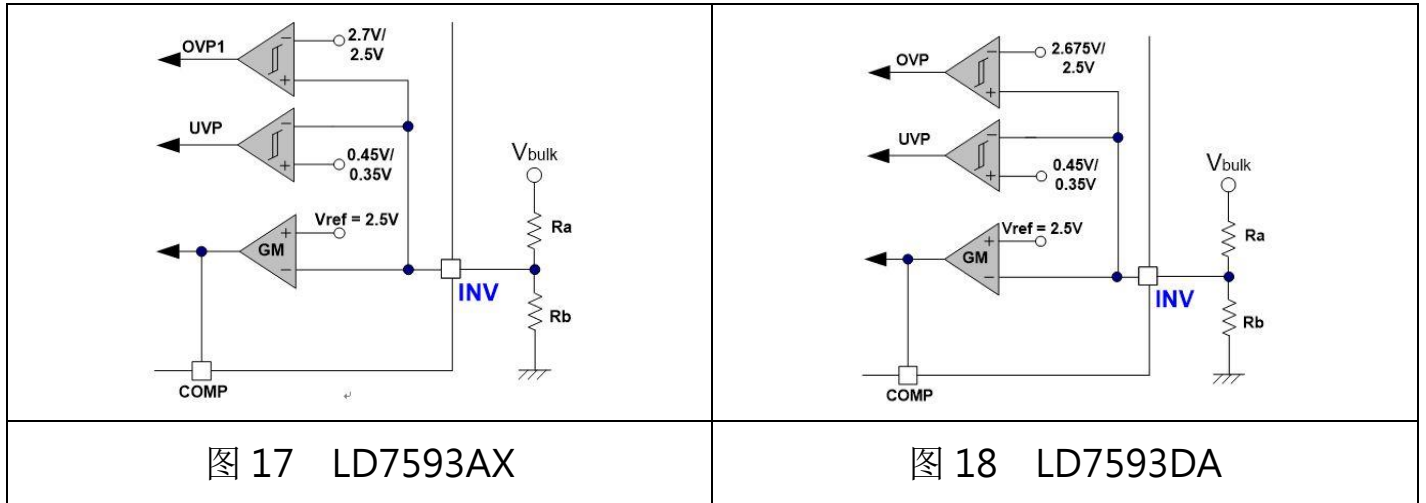
LD7593AX/DA INV Pin 电路如图 17, 18, INV Pin 侦测电解电容电压并藉由电阻 Ra 及 Rb 进行分压达到稳压, 参考电压(Vref)为 2.5V, OVP 参考电压为 2.7V(LD7593AX)及 2.675V (LD7593DA), 设计准则如下:

输出电压对应 Vref 电压公式:

$$V_o = 2.5V \cdot \left(1 + \frac{R_a}{R_b}\right)(V)$$

设置 Bulk 电压为 395V, 可推得 Ra 为 3M ohm, Rb 为 19.1k ohm。

$$V_o = 2.5V \cdot \left(1 + \frac{3M}{19.1k}\right) = 395V$$



4.4.1 一阶 OVP on INV Pin

INV Pin 同时提供 OVP 保护, 确保大电容不被高电压损伤, LD7593AX OVP 参考电压(Vref)为 2.7V, LD7593DA OVP 参考电压(Vref)为 2.675V, OVP 触发波形如图 19。

$$V_{ovp} = 2.7V/2.675V \cdot \left(1 + \frac{R_a}{R_b}\right)(V)$$

以 Ra 为 3M ohm, Rb 为 19.1k ohm 可推得 OVP 电压为 426V / 422V。

$$V_{ovp} = 2.7V/2.675V \cdot \left(1 + \frac{3M}{19.1k}\right) = 426 / 422V$$

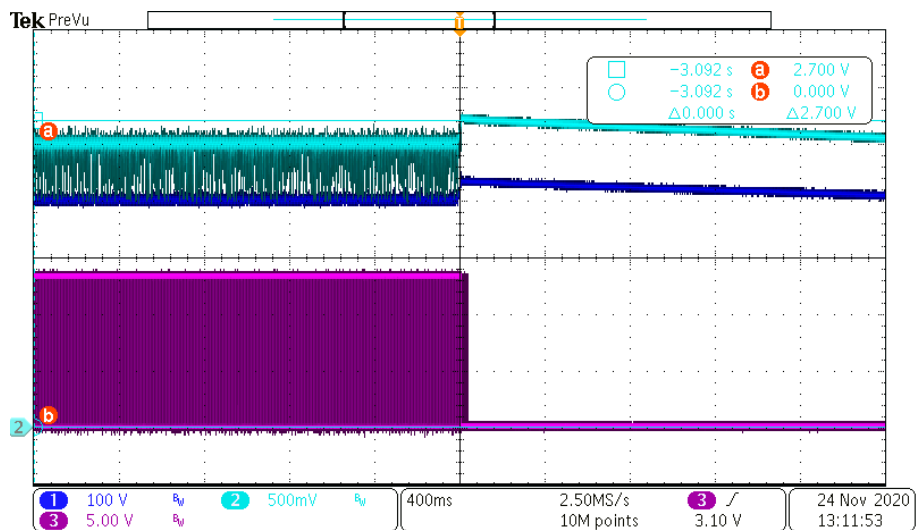


图 19 LD7593 OVP, Ch1:Vo Ch2:INV Ch3:Out

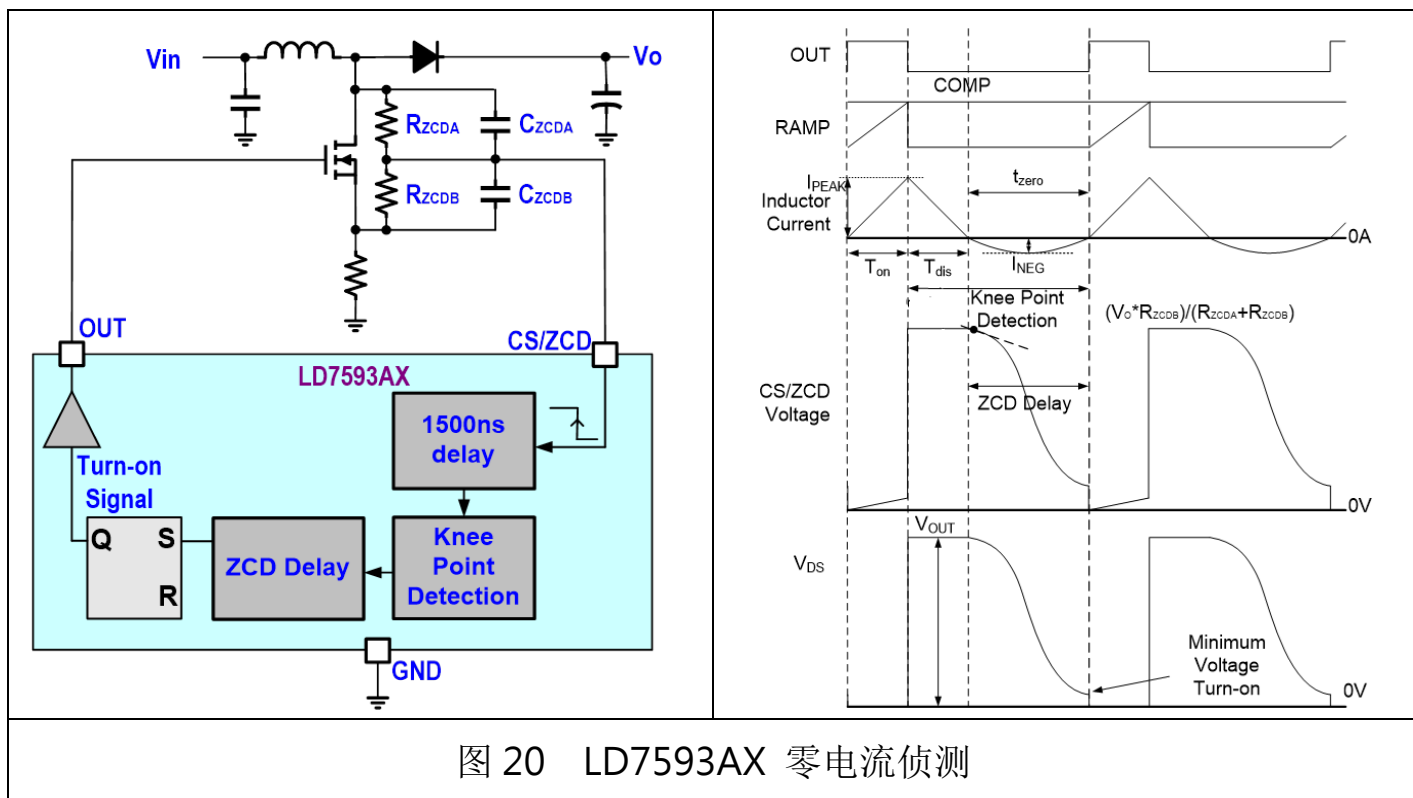
4.5 ZCD Pin 功能说明

透过 Zero Current Detection (零电流侦测 ZCD)，达到谷底切换功能，当磁化电流达到零时，PFC 电感开始与寄生电容谐振，Mosfet VDS 开始下降，检测该下降沿作为零电流点，进行 Mosfet 导通，降低开关损耗。

4.5.1 LD7593AX 与 LD7593DA ZCD 侦测方式说明

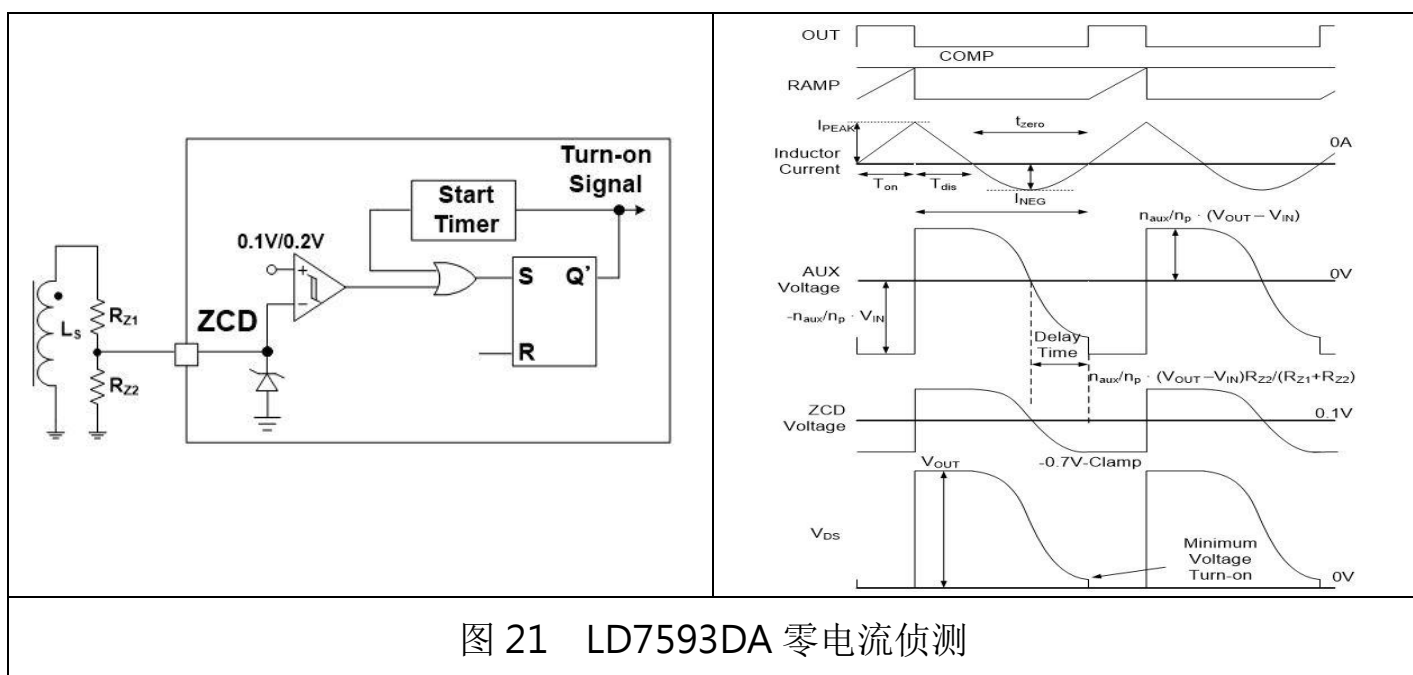
4.5.2 LD7593AX：零电流侦测 Mos VDS 采用电阻电容分压

LD7593AX 透过电阻 RZCDA 和 RZCDB 直接采样 VDS 波形来侦测零电流点，参考电路及时序如图 20。为了避免振铃，Mosfet 关断后增加 1500ns 的延迟，透过拐点侦测技术侦测零电流点。为确保谷底开关导通，在拐点侦测后又增加了另一个 ZCD 延迟时间。经过此 ZCD 延迟时间后，Mosfet 导通。在实际应用中，RZCDA 可以放置 10MOhm 以上以节省功耗。另外，VDS 在取样到 ZCD 之前会衰减超过 100 倍，ZCD 波形容易受到噪声的影响且容易失真。建议添加两个额外的电容器 CZCDA 和 CZCDB 以解决此问题。



4.5.3 LD7593DA：零电流侦测采用辅助绕组采样

LD7593DA 通过升压电感器的电流透过使用与电感器耦合的辅助绕组降至零时，零电流检测模块将导通 Mosfet，参考电路及时序如图 21。在 Mosfet 关闭阶段，ZCD 接脚电压上升至 0.2V 以上，ZCD 比较器置位并开始等待 ZCD 电压降至 0.1V 以下。当 ZCD 电压低于 0.1V 时，零电流侦测器将开启 Mosfet。ZCD 接脚由两个箝位内部保护：4V 正电压箝位和-0.7V 负电压箝位。



4.5.4 ZCD 实际波形

图 22~图 24 演示了在不同负载条件下，对应不同的波谷数做切换，当负载
量由重变轻，波谷数相对增加，以达到最佳的效率表现。

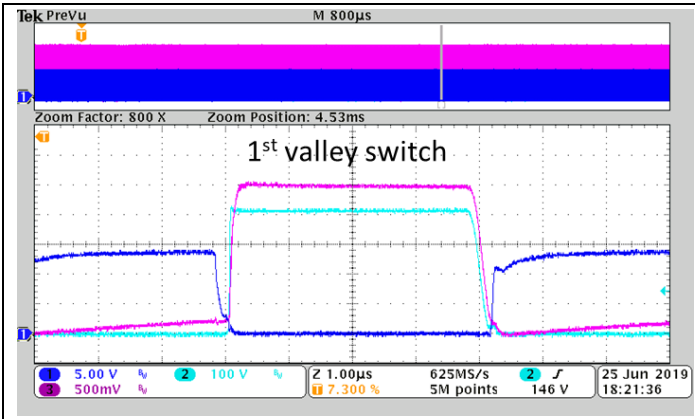


图 22 第一波谷切换

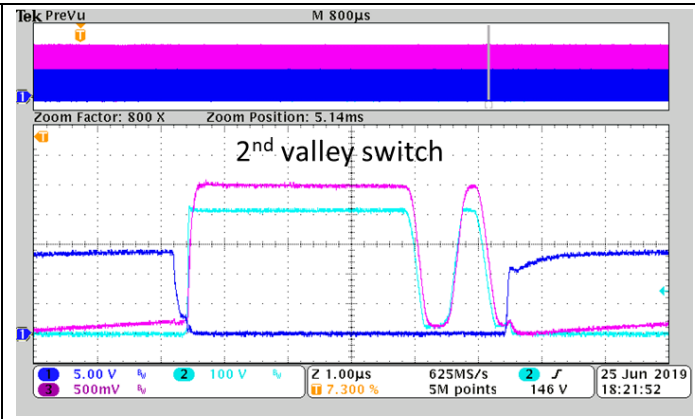


图 23 第二波谷切换

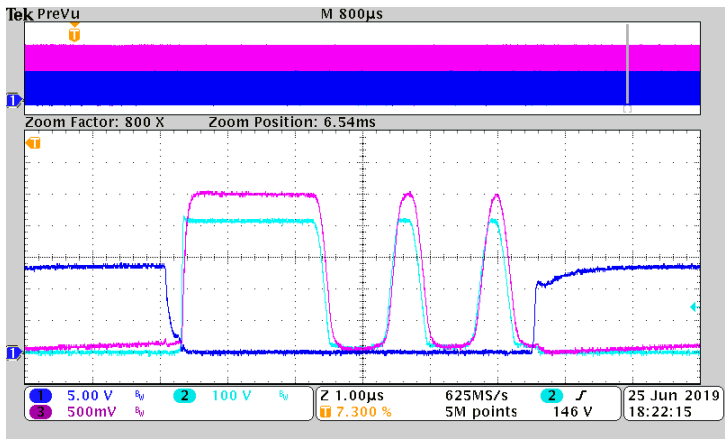


图 24 第三波谷切换

CH1 :驱动波形, CH2 : PFC MOS VDS, CH3 :ZCD

4.6 CS Pin 功能说明

CS 脚位侦测 PFC Mosfet 电流，当电流侦测引脚的最大电压阈值设定为 0.8V，当电压阈值上升至 0.8V 将 MOSFET 关断达到 Cycle by Cycle current limit，以防止 PFC 电感饱和，触发波形如图 25。

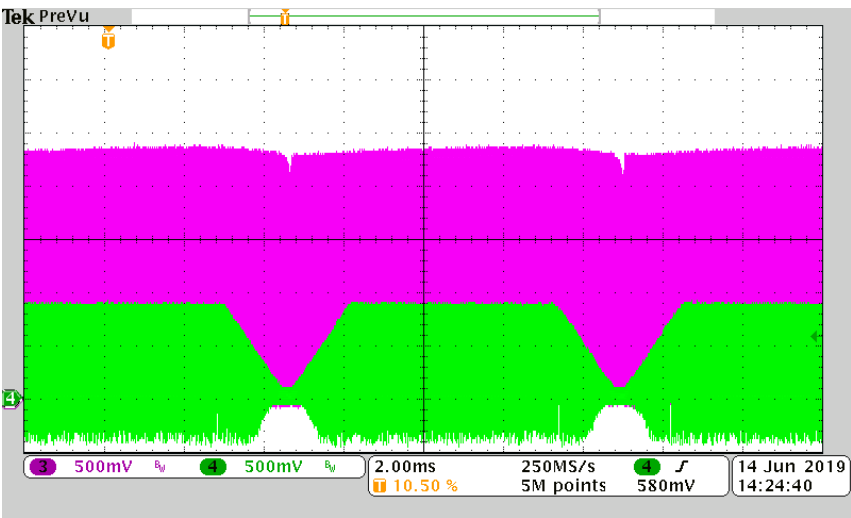


图 25 Cycle by Cycle current limit, Ch1:Vo Ch2:INV Ch3:Out

4.6.1 LD7593AX：二阶 OVP on CS/ZCD PIN

LD7593AX CS 引脚侦测 PFC MOSFET 电流，同时侦测输出电压，提供二阶的 OVP 保护，当一阶 OVP 失效时，二阶 OVP 启动可确保大电容不被损坏，增加产品可靠度，电路及触发条件如图 26，27，OVP2 触发波形如图 28，29。

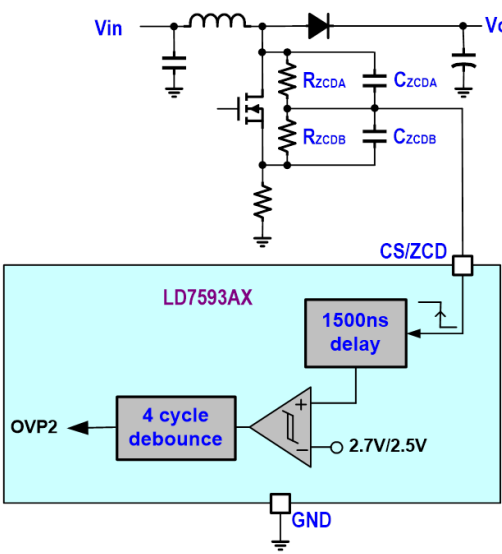


图 26 LD7593AX OVP2 电路

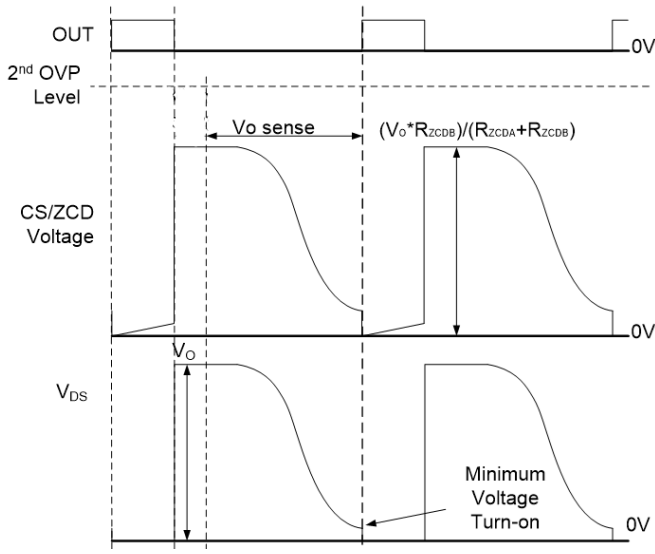


图 27 LD7593AX 触发条件

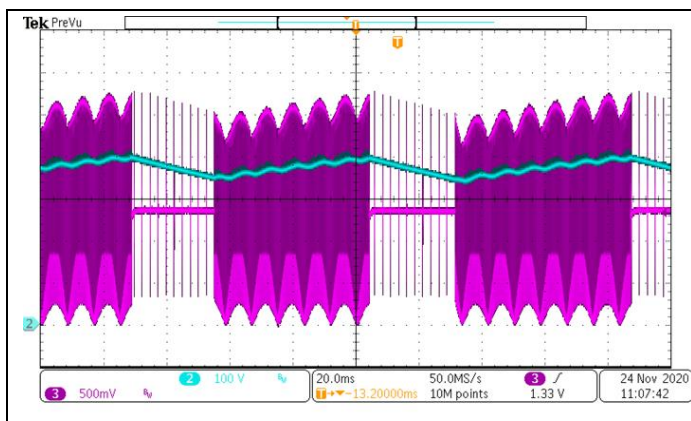


图 28 OVP2, Ch2:Vo Ch3:CS/ZCS

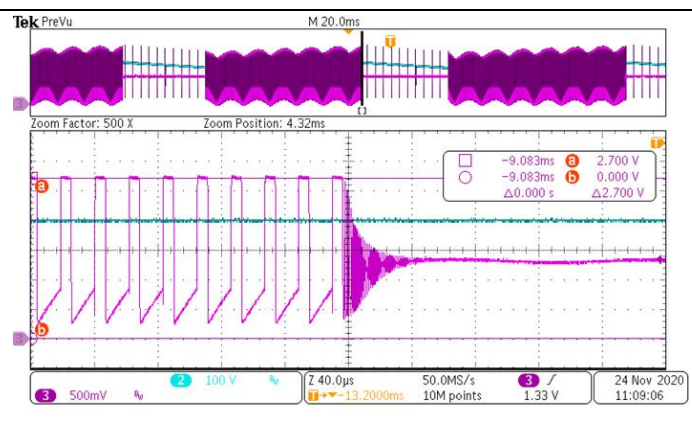


图 29 OVP2, Ch2:Vo Ch3:CS/ZCS

4.7 LD7593DA : Vinsns Pin 功能说明

藉由电阻 R_h 及 R_l 进行分压侦测输入电压准位如图 30, 当 V_{INSNS} 高于 1.4V 时, 设置为高输入电压; 当 V_{INSNS} 低于 1.2V 时, 设置为低输入电压。交流低压和高压的最大导通时间比设定为 2.87。起机时默认功能如图 31, 经由 R_{cs} 电阻值不同, 有四个档位可供选择见表 4, 输入交流低压最大导通时间为 25 μs 时, 输入交流高压最大导通时间为 8.7 μs , 可以大幅度改善输入高压时的 PF 值。

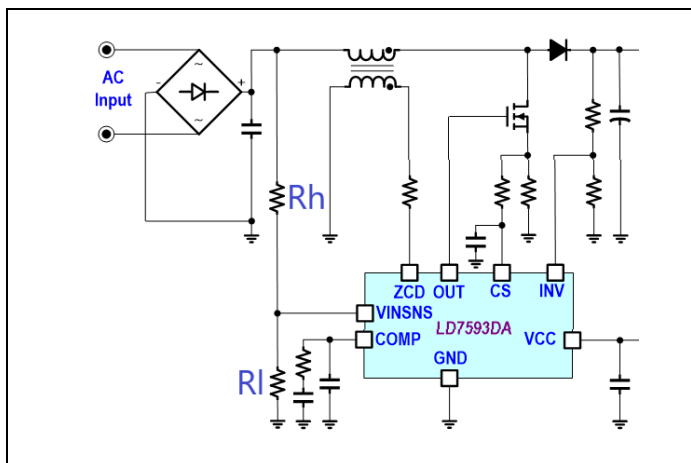


图 30 Vinsns 分压电路

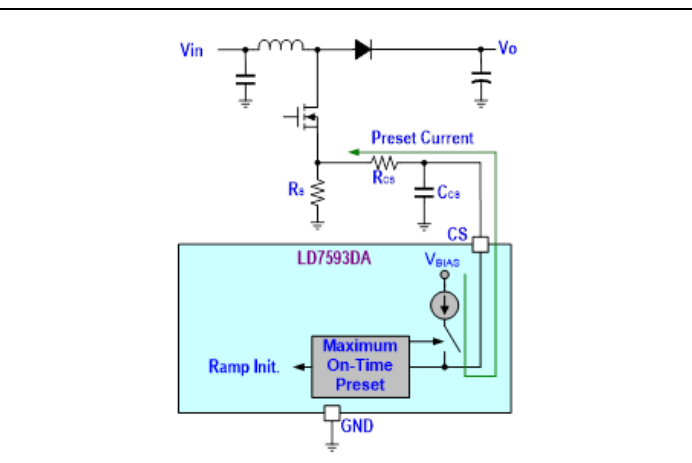


图 31 导通时间默认功能

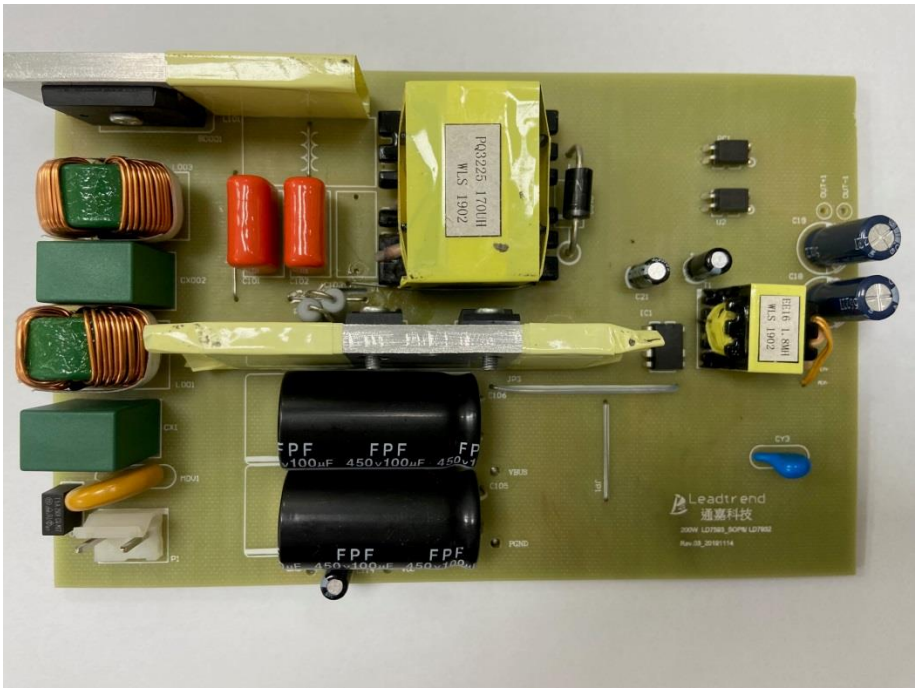
RCS (Ohm) (±1%)	Maximum On-Time(μs)	
	AC low line	AC high line
220<	25	8.7
430	21	7.3
750	17	5.9
>1000	13	4.5
表 4 RCS 对应最大导通时间		

5. 通嘉 PFC 200W Demo Board 设计范例

PFC : LD7593 + VCC : LD7932

PCB Size: 162mm(L) x 103mm(W) x 26mm(H)

输出功率 : 390V/0.5A,



效率测试

	90 V _{AC} / 60 Hz		115 V _{AC} / 60 Hz	
V _{BUS,SET} (V)	Load	EFF (%)	Load	EFF (%)
390	100%	98.58%	100%	98.76%
	75%	98.63%	75%	98.46%
	50%	96.51%	50%	97.88%
	25%	95.17%	25%	97.08%
	230 V _{AC} / 60 Hz		264 V _{AC} / 50 Hz	
V _{BUS,SET} (V)	Load	EFF (%)	Load	EFF (%)
390	100%	99.86%	100%	99.94%
	75%	98.68%	75%	98.70%
	50%	98.61%	50%	98.65%
	25%	98.71%	25%	98.59%

通嘉 PFC 控制器具有高效率、节省辅助绕组、谷底导通的优点，并精简 IC 周边零件，让电源设计简易化，节省研发时间成本，在搭配不同导通时间设定，以符合各种电源瓦特数应用。并提供全面性保护机制，包含 Cycle by Cycle Current Limit、第一、第二阶段过电压保护、VCC 过/欠电压保护、二极管短路保护、电感短路保护及过温度保护(OTP) 等机制，提升产品安全可靠。在市场上受到客户的认可，并有大量量产经验，我们将提供最详细的信息及应用说明给您,同时请支持老牌 AC-DC 通嘉产品联系方式如下

