

# Flyback 原边反馈(PSR)及多重模式(QR+CCM)控制器之应用

作者:张伟群(Darron)

## 1. Flyback 副边反馈(SSR)及原边反馈控制(PSR)背景说明

Flyback 电路电压环反馈控制分为副边(SSR)及原边(PSR)反馈电路,图 1 为 SSR 副边反馈电路,采用 AP431 内部的参考电压 2.5V 搭配外部反馈补偿电路调整,图 2 为 PSR 原边反馈电路,采用初级 IC FB pin 内部参考电压 2V 并搭配 comp pin 反馈补偿电路调整。

### PSR 原边反馈控制特性

优点: 电路组件少及成本优势适用于小型化设计

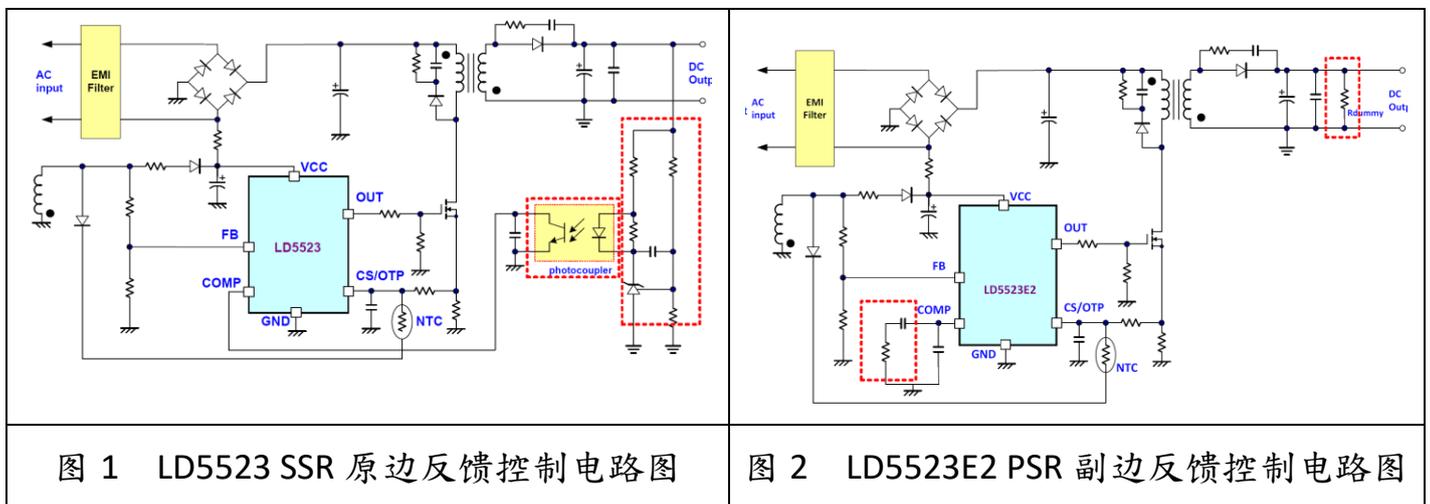
缺点: 因电压反馈响应速度慢于动态负载,电压调整率相较 SSR 略差些

以 PSR LD5523E2 替换 SSR LD5523 说明

两套方案 Pin-Pin 可以直接替换,步骤说明如下

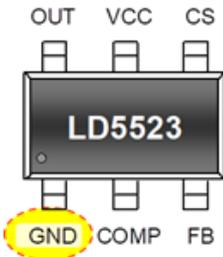
步骤 1: 移除二次侧 431 及光耦合器参考图 1 红圈

步骤 2: Comp pin 增加 RC 电路及输出加假负载参考图 2 红圈



## 2. Flyback SSR 及 PSR 功能及保护差异

表 1 说明 SSR 及 PSR 功能及保护差异

| 表 1 LD5523 SSR 及 LD5523E2 PSR 功能对比表 |   |   |
|-------------------------------------|---|---|
| 项目                                  | LD5523 SSR 副边反馈   | LD5523E2 PSR 原边反馈   |
|                                     |    |  |
| 输出电压调整                              | $V_{out}=2.5V \times (RA+RB)/RB$<br>2.5V 为 AP431 参考电压<br>输出电压误差与 IC 无关  | $V_{out}=V_{FB} \times [1+(RA/RB)] \times (NS/NA) - V_F$<br>VFB= IC 内部 2V 参考电压      |
| 过流保护                                | OCP 误差量 +/-20%  | OCP 误差量 +/-8%   |
| 过压保护 (OV)                           | SSR 及 PSR 设计原理采用 Vcc OVP 及 VFB OVP<br>Vcc pin Vcc_ovp =28V 及 FB pin VFB_OVP=2.4V  |   |
| AC Brown in /out Buck OVP           | SSR 及 PSR 设计原理采用侦测 FB pin 电流<br>AC Brown in IBNI=95uA, AC Brown out IBNO=85uA<br>Buck OVP LD5523 : IBULK_OVP=418uA, LD5523E2 : IBULK_OVP=380uA, |   |
| 过温度保护 OTP                           | SSR 及 PSR 设计原理侦测 CS pin 平台电压<br>LD5523: Vcs_OTP=0.5V, LD5523E2CS : Vcs_OTP=0.3V   |   |
| 线损补偿                                | 无此功能  | PCB 端的电压随输出电流增加而提升  |

### 3. PSR LD5523E2 特点

#### 1. QR+CCM 控制(Multit-mode controller)

QR+CCM 控制主要对应能效 DOE6 及 COC2 的规范,当负载条件 10%-50%操作在 QR 模式波谷切换降低切换损失,负载条件 75%-100%操作在 CCM 提升满载时的效率,相较于 QR 控制的方案,QR+CCM 控制变压器可降低 Bmax 及提升利用率。

#### 2. CCM 操作频率 75KHZ(低压输入)及 65KHZ(高压输入)

低压输入 CCM 频率 75KHZ 设计可降低变压器磁饱和,高压输入系统操作在 QR 时可降低切换损失提升效率

#### 3. 启动时调整 Vcs\_max 限制变压器磁饱和(Adjustable start-up Vcs-max limit for Bsat)

当 AC 输入时初级的开关会提供最大的能量,使输出电压建立到设定的范围,此时为避免变压器有磁饱和的风险,调整 CS pin 串联电阻可以调整 VCS\_max level 并限制能量。

#### 4. 低压输入输出电压纹波补偿功能

(Output voltage ripple reduce at low line input voltage)

低压输入时,桥式整流后的高压电容之电压纹波会影响输出电压纹波,此电压纹波补偿主要是在高压电容电压在波谷时进行补偿达到降低输出纹波功能。

#### 5. OLP 设计

SSR LD5523 原边反馈 OLP 误差约为 $\pm 20\%$

影响 OLP 误差参数: 变压器电感 $\pm 7\%$ ,电流检测电阻 $\pm 1\%$ , IC 内部 Vcs $\pm 4\%$ , 切换频率 $\pm 8\%$

PSR LD5523E2 副边反馈 OLP 误差约为 $\pm 8\%$ :

影响 OLP 误差参数: IC 参数 $\pm 7\%$ 及电阻 $\pm 1\%$

#### 4. LD5523E2 功能应用说明

图 3 说明各 Pin 功能应用, 以下功能为 IC 的特点说明其中保护功能包含输出过压保护 (OVP), 输出过载保护(OLP), 副边二极管短路保护(SDCP)输入启动/输入欠压保护(AC Brown in/Brown out), 过温度保护(CS OTP), 波谷(QR)侦测等功能。

|          |   |
|----------|---|
| Vcc Pin  | Vcc UVLO on=16.5V, UVLO off=7V, Vcc OVP=28V。          |
| OUT pin  | 驱动电流 Source current 40mA 及 Sink current -170mA        |
| Comp pin | 外部链接二阶补偿电路调整系统响应速度                                    |
| FB pin   | AC Brown in /Brown out/Bulk OVP, QR Detect, FB OVP 功能 |
| CS pin   | 启动降低变压器磁饱和功能(VCS_max)及过温度保护(CS OTP)功能                 |

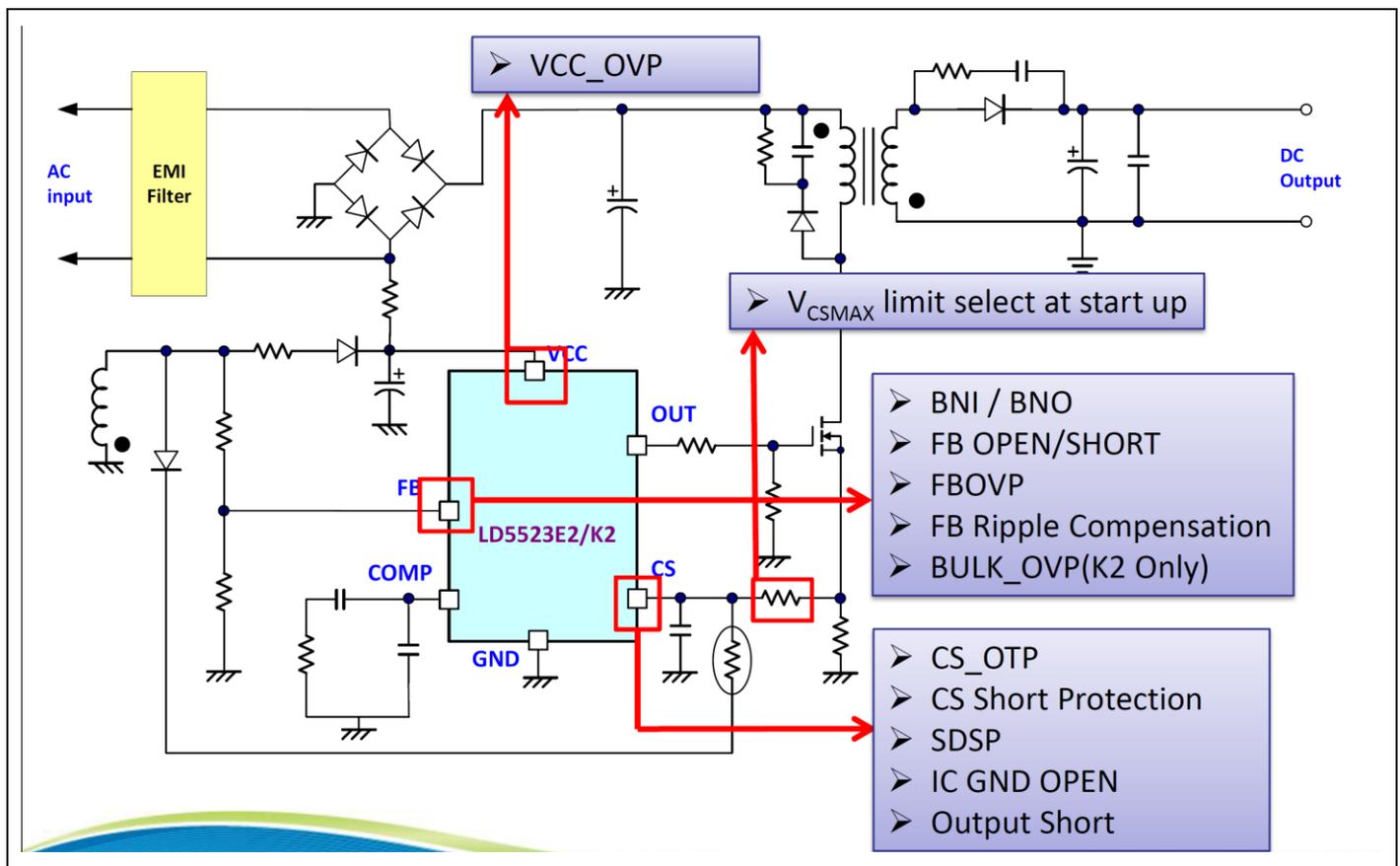


图 3 LD5523E2 IC Pin 脚功能应用

## 4.1 FB Pin 应用说明

### 4.1.1 输出电压及线补设定

输出电压调整设定如图 4 说明: FB pin 依据 VFB 正半周总时间的 40%为取样电压并已 IC 内部参考电压 2V 作比较, 设计公式  $V_o=2X(1+(R_a/R_b))X(N_s/N_a)-V_F$ , 设计需留意 Vcc diode 需采用快回复式的  $T_{rr}<500ns$

输出电压线补设定:

输出电压线补设定如图 5 说明: IC 依据满载( $I_{RATED}$ )及 OLP( $I_{OLP}$ )设定线损补偿的电流( $I_{LC}$ )  
设计公式  $V_o=(2+ I_{LC}X(R_a//R_b))X(1+R_a/R_b)X(N_s/N_a)-V_F$

案例说明:

参数设定变压器  $N_p=69T$ ,  $N_a=12T$ ,  $N_s=9T$ , FB pin  $R_a=200K$ ,  $R_b=28K$ ,  $I_{OLP}=2.9A$ ,  $I_{RATED}=2A$ ,  
 $V_F=0.1$

输出电压  $V_o=2X(1+(R_a/R_b))X(N_s/N_a)-V_F=2X(1+(200K/28K))X(9/12)-0.1=12.11V$

输出电压线补  $V_o=(2+ I_{LC}X(R_a//R_b))X(1+R_a/R_b)X(N_s/N_a)-V_F=(2.1X8.14X0.75)-0.1=12.7V$

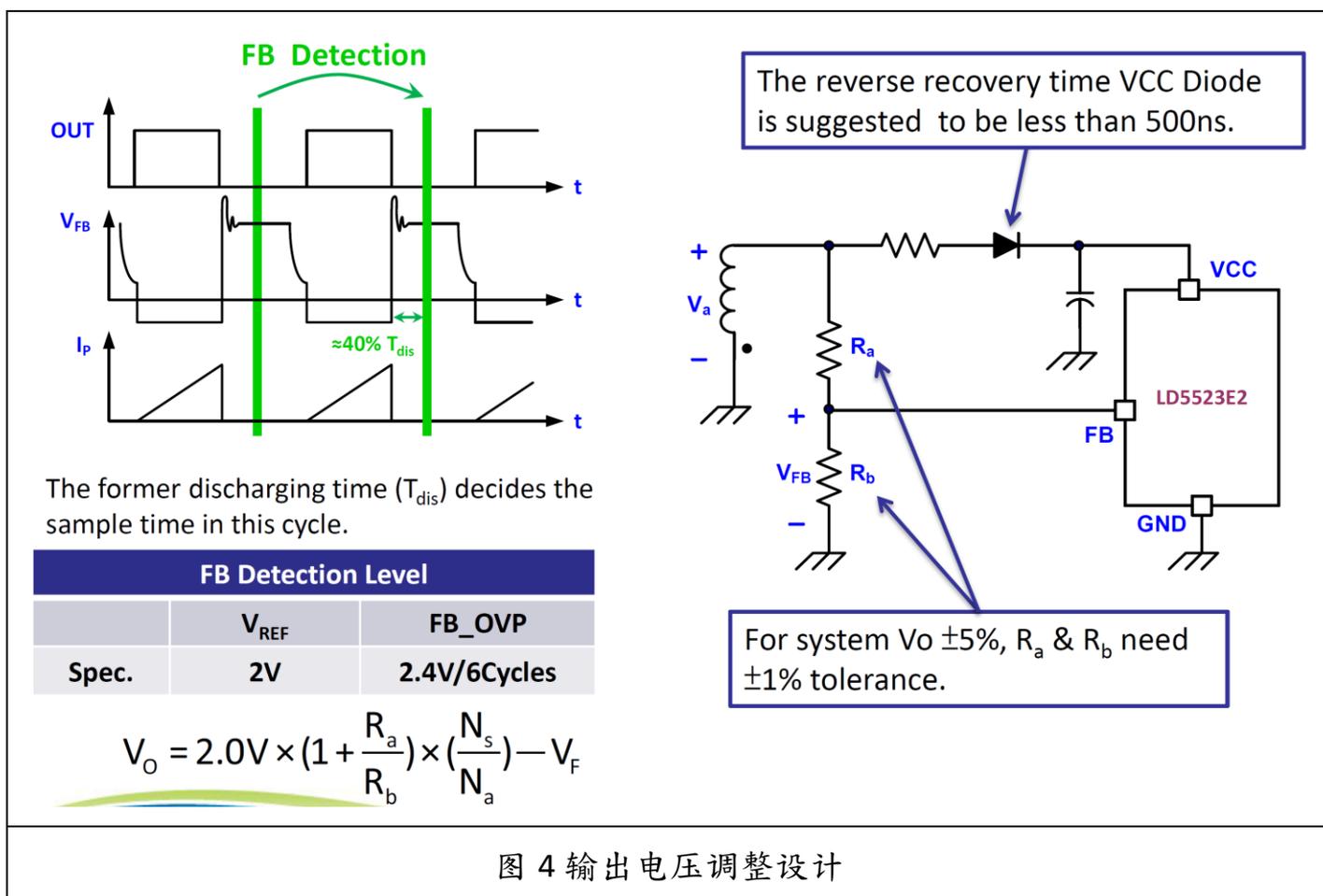


图 4 输出电压调整设计

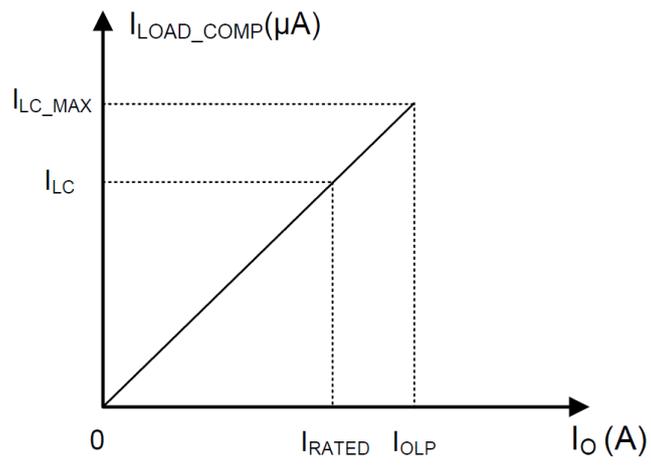


图 5 线损补偿电流( $I_{LC}$ )设计

### 4.1.2 AC Brown in/out, Buck OVP 设定

当初级 MOS 导通时 FB pin  $V_{FB}$  为负半周时此电压为  $V_{DC} \times (N_a/N_p)$  其中  $V_{DC}$  为高压电容电压, 此负半周电压除以 FB pin 上偏电阻  $R_a$  所得到的电流  $I_{FB}$ , 当  $V_{DC}$  电压越高表示输入电压越高, 当  $I_{FB}$  电流高于  $I_{BNI}$  时进行 AC Brown in 低于  $I_{BNO}$  时进行 AC Brown out 如图 6 AC, 另外  $I_{FB}$  电流大于  $I_{BulkCap}$  时 IC 进行 Bulk OVP 设定时进行保护。

AC Brown in/out/OVP 计算方式：

| 设定项目                    | IC 内部参数  | 计算公式  |
|-------------------------|--|---|
| Brown in Trip level     | $I_{BNI} : 90\mu A - 100\mu A - 110\mu A$      | $V_{DC\_BNI} = (N_p/N_a) \times I_{BNI} \times R_a$<br>AC Brown out(Vac) = $V_{DC\_BNI} \times 1.414$               |
| Brown out Trip level    | $I_{BNO} : 80\mu A - 90\mu A - 100\mu A$       | $V_{DC\_BNO} = (N_p/N_a) \times I_{BNO} \times R_a$<br>AC Brown out(Vac) = $V_{DC\_BNO} \times 1.414$               |
| Bulk cap OVP Trip level | $I_{BulkCap} : 358\mu A - 380\mu A - 412\mu A$ | $V_{DC\_BulkCap} = (N_p/N_a) \times I_{BulkCap} \times R_a$<br>AC Bulkcap OVP(Vac) = $V_{DC\_BulkCap} \times 1.414$ |

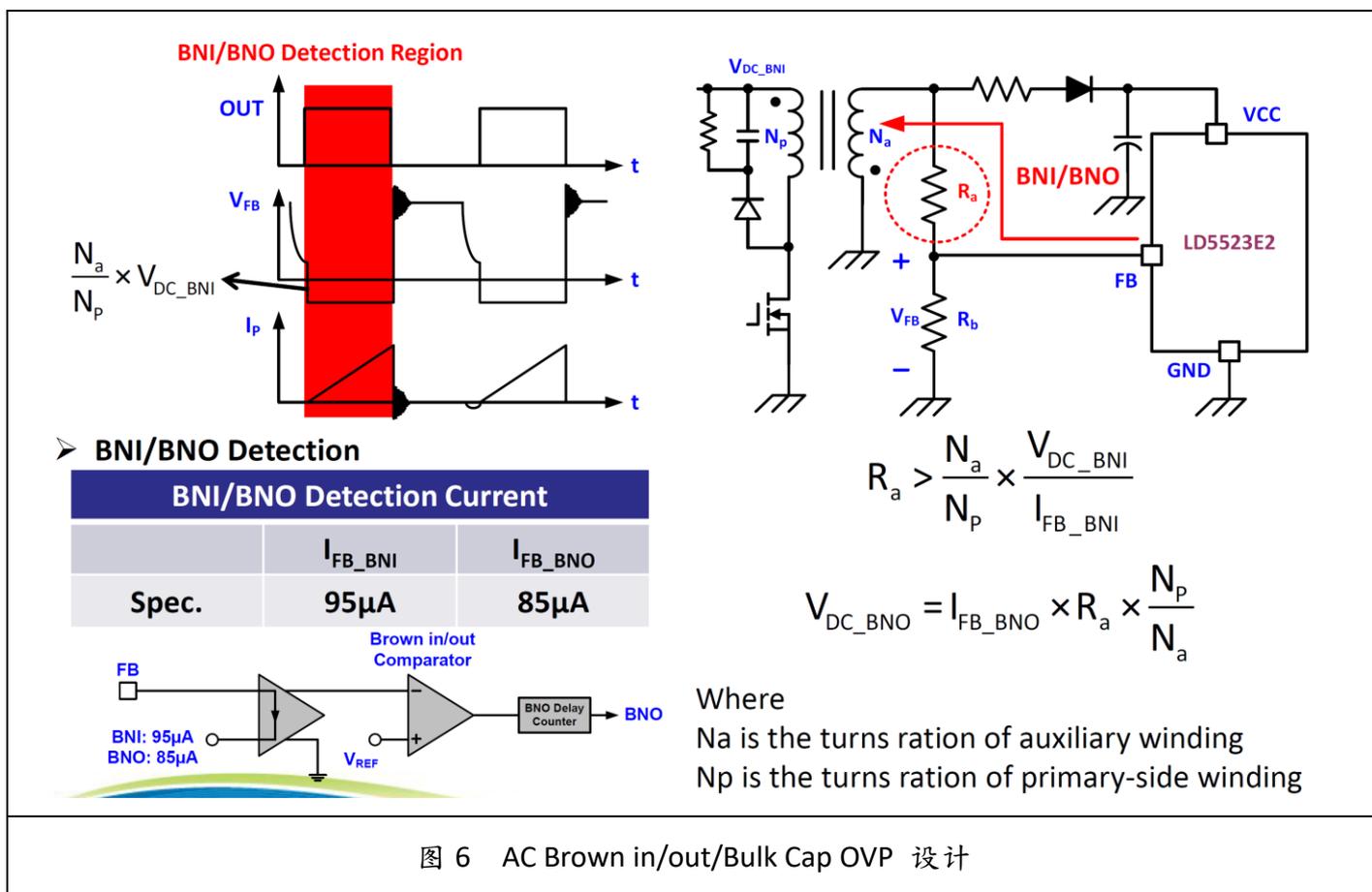


图 6 AC Brown in/out/Bulk Cap OVP 设计

案例说明：

参数设定 变压器 NP=69T, Na=12T, Ns=9T, FB pin Ra=200K, Rb=28K, I<sub>OLP</sub> =2.9A, I<sub>RATED</sub>=2A,

VF=0.1, 计算结果

|              |                |                |                 |
|--------------|----------------|----------------|-----------------|
| AC Brown in  | IBNI=90uA      | IBNI=100uA     | IBNI=110uA      |
|              | 72.7Vac        | 77.3Vac        | 81.9Vac         |
| AC Brown out | IBNO=80uA      | IBNO=90uA      | IBNO=100uA      |
|              | 64.6Vac        | 69Vac          | 73Vac           |
| AC OVP       | IBulkcap=358uA | IBulkcap=380uA | IBulkcap =412uA |
|              | 306Vac         | 309Vac         | 312Vac          |

#### 4.1.3 低压输入输出电压纹波补偿功能(Output voltage ripple reduce at low line input voltage)

电压纹波补偿功能设计公式

| 设定项目   | IC 内部参数       | 计算公式  |
|--|---------------|---|
| Low line ripple compensation<br>courrent level | IFBLLRC =96uA | VLLRC=RaXIFBLLRC , Vdc=VLLRCX(NP/NW)<br>高压电容电压低于 Vdc 启动纹波补偿 |

案例说明：

参数设定:变压器 NP=69T, Na=12T, Ns=9T, FB pin Ra=200K, Rb=28K, I<sub>OLP</sub> =2.9A, I<sub>RATED</sub>=2A,

计算结果

$$VLLRC=RaXIFBLLRC=200K X96uA=19.2V$$

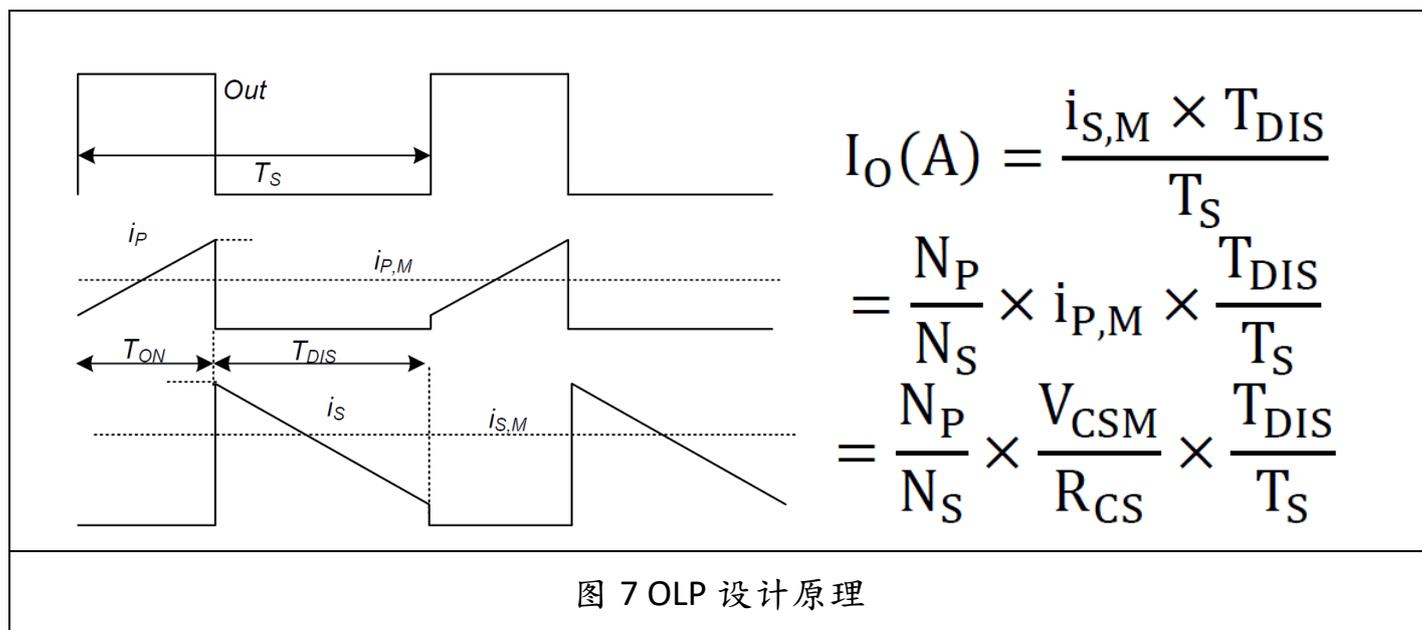
$$Vdc=VLLRCX(NP/NW)=19.2VX(69/12)=110V \text{ (高压电容电压低于 110V 启动纹波补偿)}$$

## 4.2 CS Pin 应用说明：

### 4.2.1 Over Load Proteciton (OLP)说明

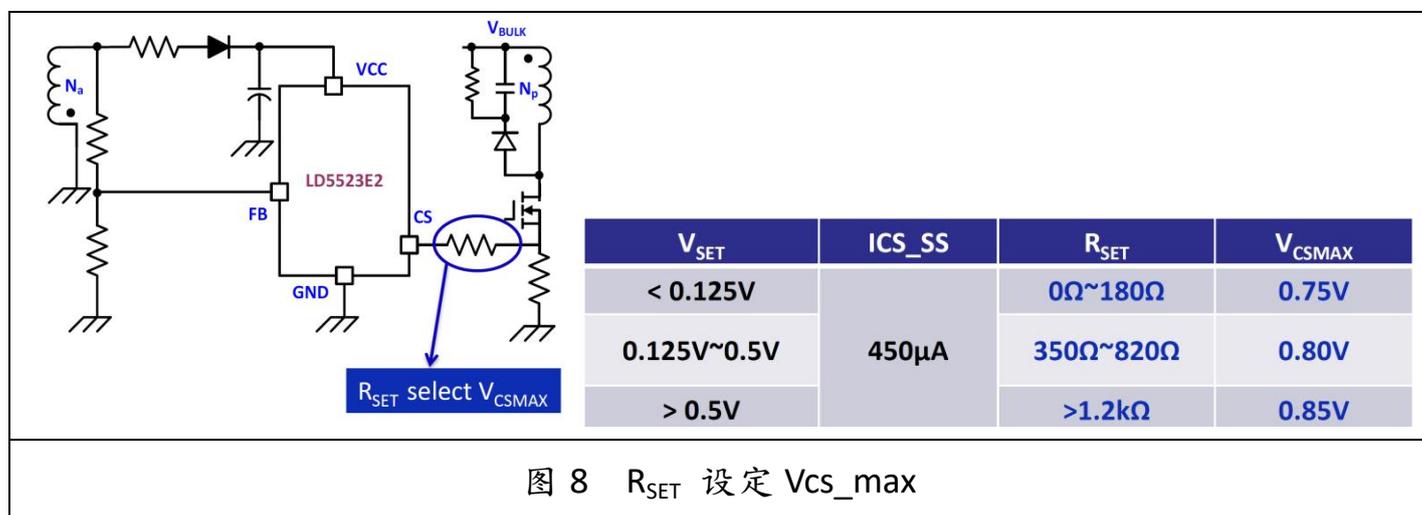
OLP 计算公式为  $I_{OLP} = (N_P/N_S) \times (I_{CC}/R_{CS})$  如图 7 推导出来其中  $I_{CC} = V_{CSMAX} \times (T_{DIS}/T_S) = 0.25$

其中  $I_{CC} = 0.25$  (IC 内部参数 +/-7%),  $R_{CS}$  (初级电流检测电阻 +/-1), 变压器初级绕组圈数  $N_P$  及次级绕组圈数  $N_S$



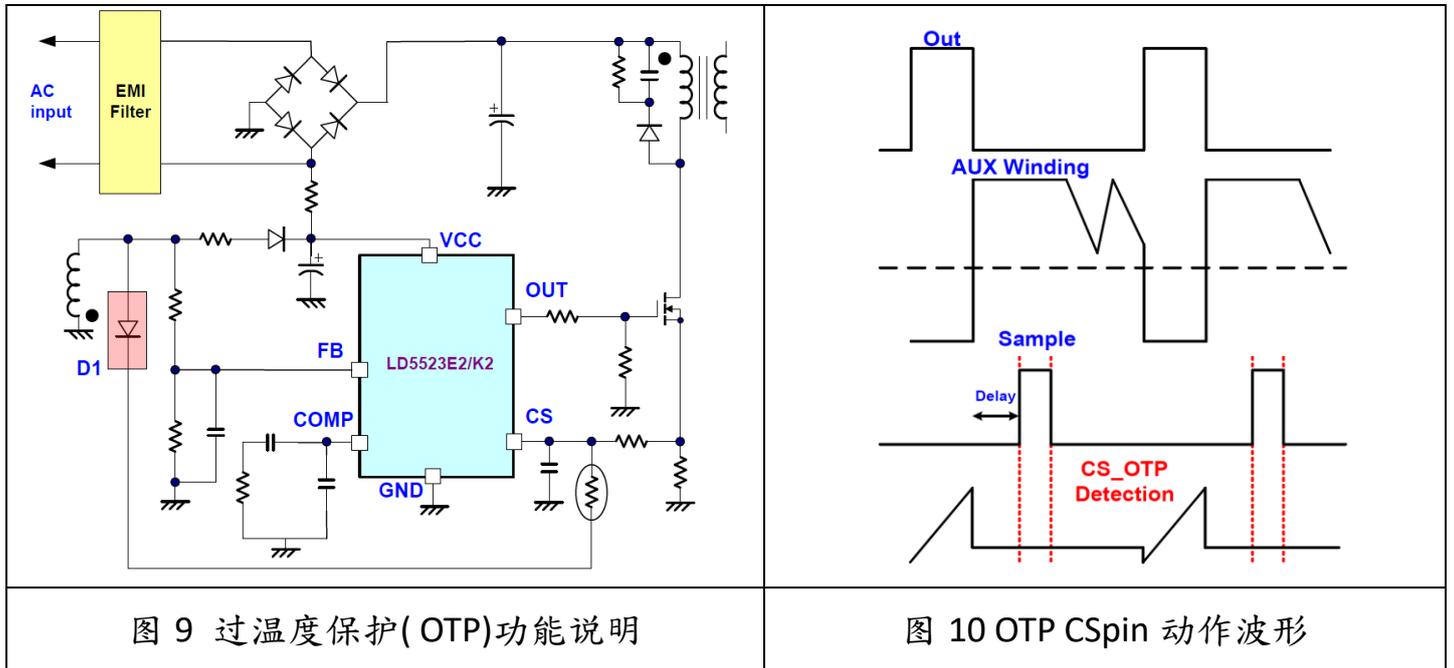
### 4.2.2 启动时调整 Vcs\_max 限制变压器磁饱和 (Adjustable start-up Vcs\_max limit for Bsat)

当 AC 输入时初级的开关会提供最大的能量, 使输出电压建立到设定的范围, 此时为避免变压器有磁饱和的风险, 调整 CS pin 串联电阻可以调整 VCS\_max level 并限制能量如图 8 说明。调整 CS pin 外部串联电阻  $R_{SET}$  设定调整 Vcsmax 的 3 个 level 于起机的条件如下, 可利用以下公式计算变压器磁饱和  $I_{CS} = V_{CS}/R_{CS}$  及  $B_{max} = (L_p \times I_{CS}) / (N_p \times A_e)$



### 4.2.3 过温度保护(OTP)功能说明

CS OTP 电路中二级管建议采用  $T_{rr} < 500\text{ns}$  如图 9。初级 MOS 关闭时 CS pin 增加平台电压, 当此电压平台高于  $0.3\text{V}$  且维持  $1\text{ms}$  之后 IC 进入保护模式, 如图 10 说明。



#### 4.2.4 二极管短路保护功能(Secondary diode short protection SDSP)：

当安规进行短路及开路实验时，判定标准以电源板不能冒烟冒火的现象，对于零件损坏无要求，为了符合客户故障实验时不能有零件损坏包含初级 MOS。

CS pin 增加 SDSP 保护功能，当次级二极管短路时初级的电流会瞬间冲高，当 CS pin 电压超过 1.2V 且维持 4 Cycle 时驱动会关闭，IC 进入保护模式并限制能量，避免初级 MOS 损坏如图 11 说明

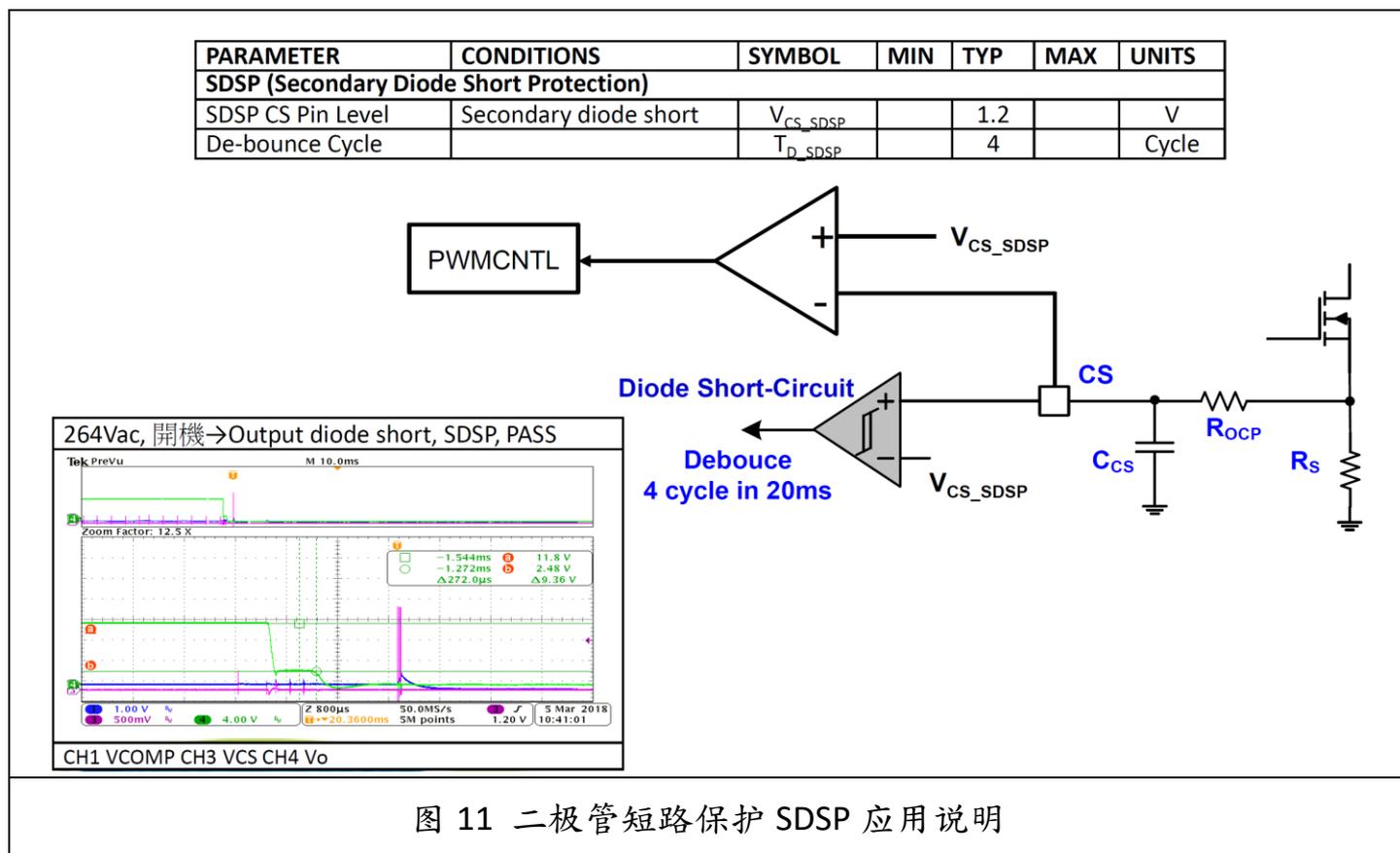


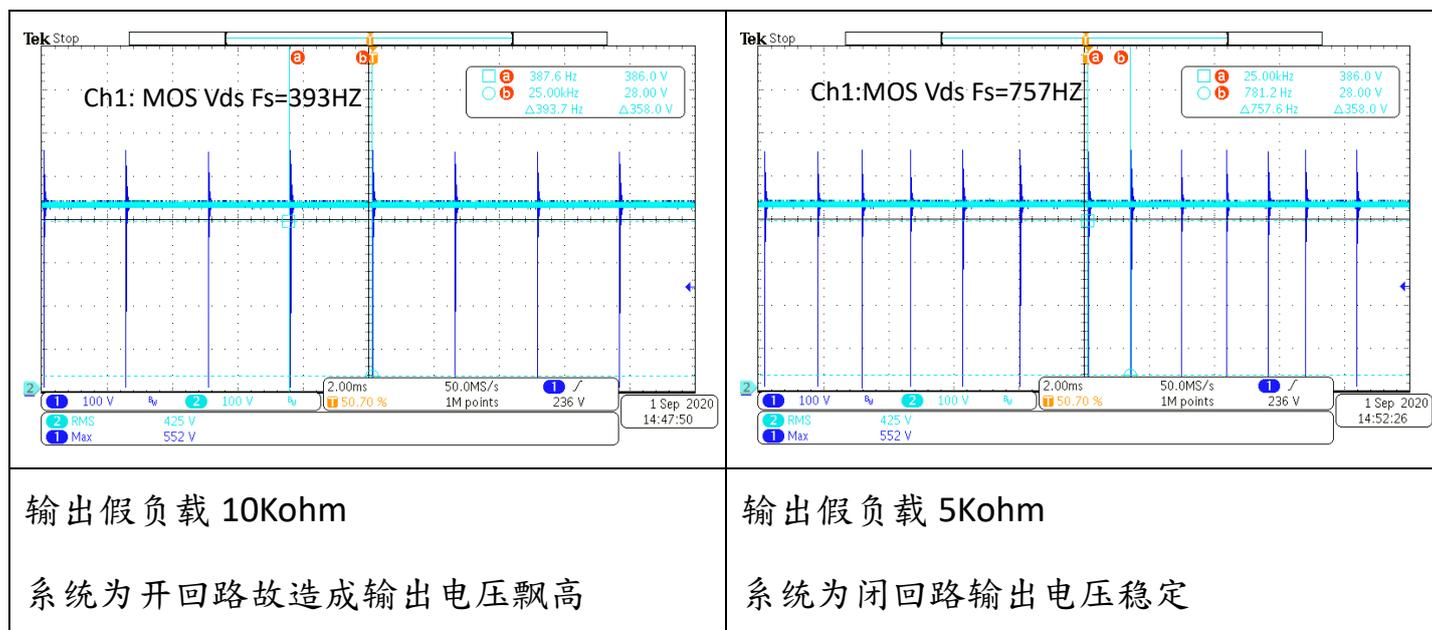
图 11 二极管短路保护 SDSP 应用说明

## 5. 问题案例说明

问题点：300Vac 12V/0A 输出电压飘高问题

原因：切换频率为 393HZ 触发到 IC 最小频率  $F_{min\ SPEC} = 300HZ - 350HZ - 400HZ$

改善方式：输出假负载由 10K(14mW) 变更为 5K(28mW)，假负载功率消耗增加 14mW，待机功耗可以满足



LD5523E2 设计应用于网通产品可减少组件数对应产品小型化设计且可容易替换副边反馈控制方案,如需要交流,可以与我联系,我将提供最详细的信息及应用说明给您

FAE 张伟群(Darron)

联系方式：Mobile: +86-13686154850

E-mail：[Darronchang@leadtrend.com.tw](mailto:Darronchang@leadtrend.com.tw)

参考文献：通嘉科技 LD5523E2 应用手册及 IC 规格书

