

CL1360 单级 PFC 设计指导

| | |
|------|-----------|
| 作者 | RSH |
| 日期 | 2013/7/19 |
| 版本 | V0.1 |
| 更改记录 | |

| | | |
|----|-------------------|----|
| 一、 | 摘要..... | 3 |
| 1. | 芯片特征..... | 3 |
| 2. | 应用领域..... | 3 |
| 3. | 引脚功能定义..... | 3 |
| 4. | 芯片工作原理..... | 4 |
| 二、 | 设计指导..... | 8 |
| 1. | 启动电路设计..... | 8 |
| 2. | 线性补偿和负载补偿设计..... | 10 |
| 3. | 开路保护或 OVP 设计..... | 11 |
| 4. | 过流保护设计..... | 12 |
| 5. | 短路保护设计..... | 13 |
| 6. | 变压器设计..... | 15 |
| 7. | 设计实例..... | 15 |

一、 摘要

本文介绍了CL1360的特征和详细的工作原理，描述一种采用CL1360的单级PFC的设计方法。

1. 芯片特征

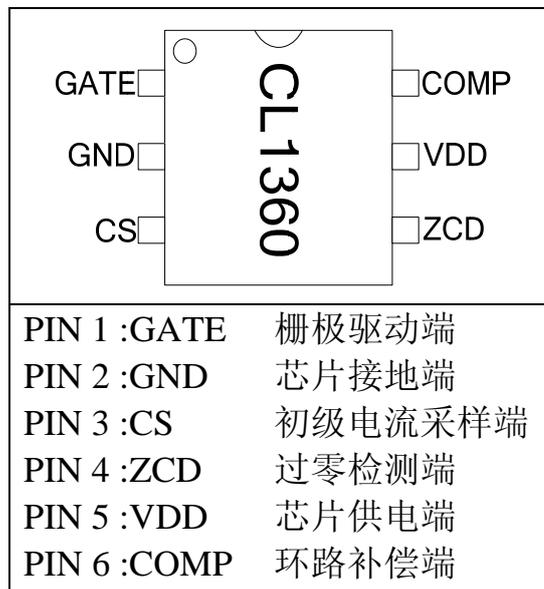
CL1360是一款应用于LED驱动的单级PFC控制芯片。

- 原边反馈，省去光耦、431简化外围电路
- 高PF，低THD。
- 电流精度高（芯片内置优异的线性补偿和负载补偿）
- LED开路、短路保护
- CS采样电阻开路保护

2. 应用领域

- LED照明

3. 引脚功能定义



4. 芯片工作原理

CL1360搭建的电路具有主动功率因数校正功能，是工作在临界连续模式反激式功率变换器。

CL1360是一款电压模式控制器(内建三角波),通过限制系统的带宽(远小于100Hz),达到恒定 T_{on} 的目的,从而使得初级峰值电流的包络正弦化,并跟随输入电压变化,最终降低应用电路的无功功率,提高功率因数,降低谐波电流。(见图1)

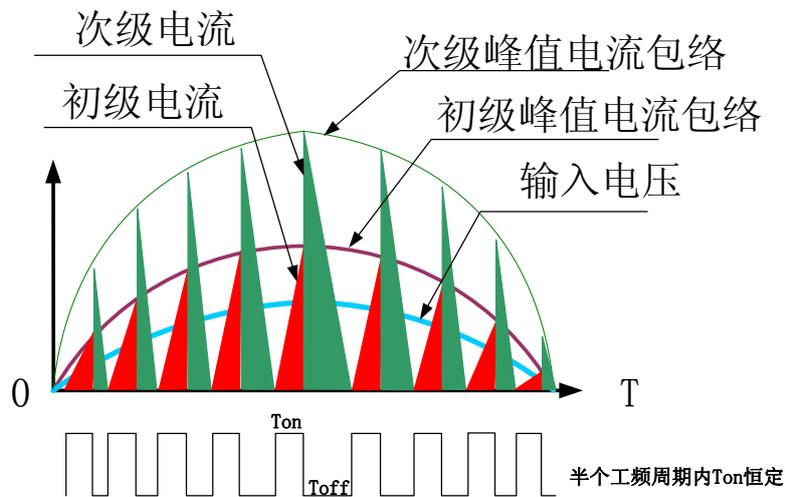


图 1

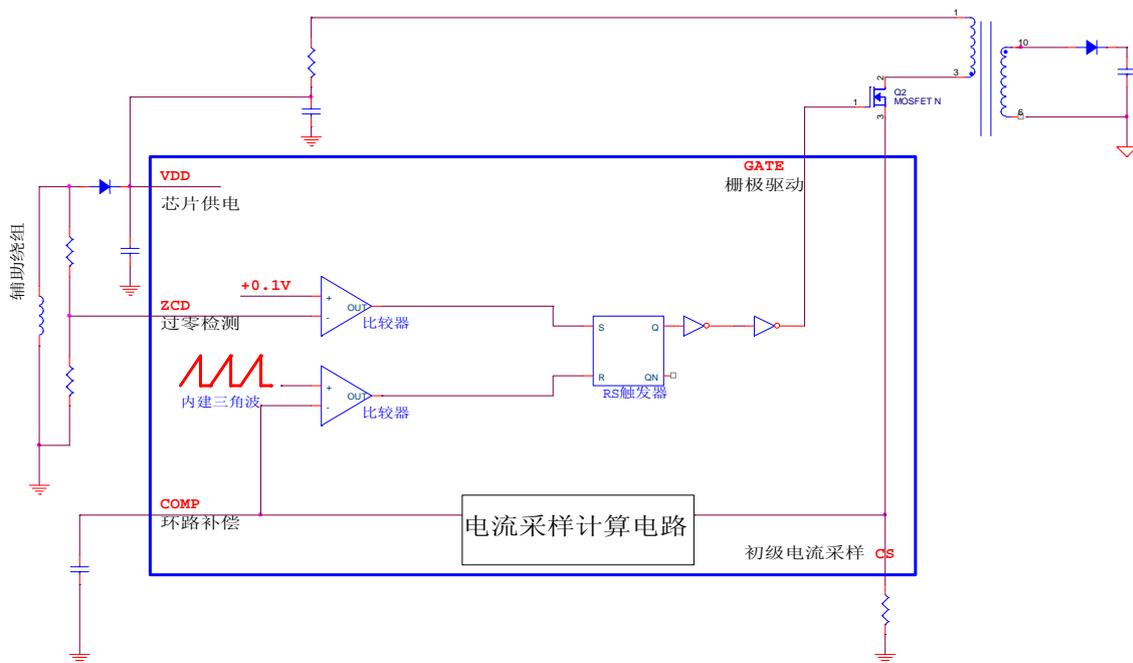


图 2、简单内部逻辑框图

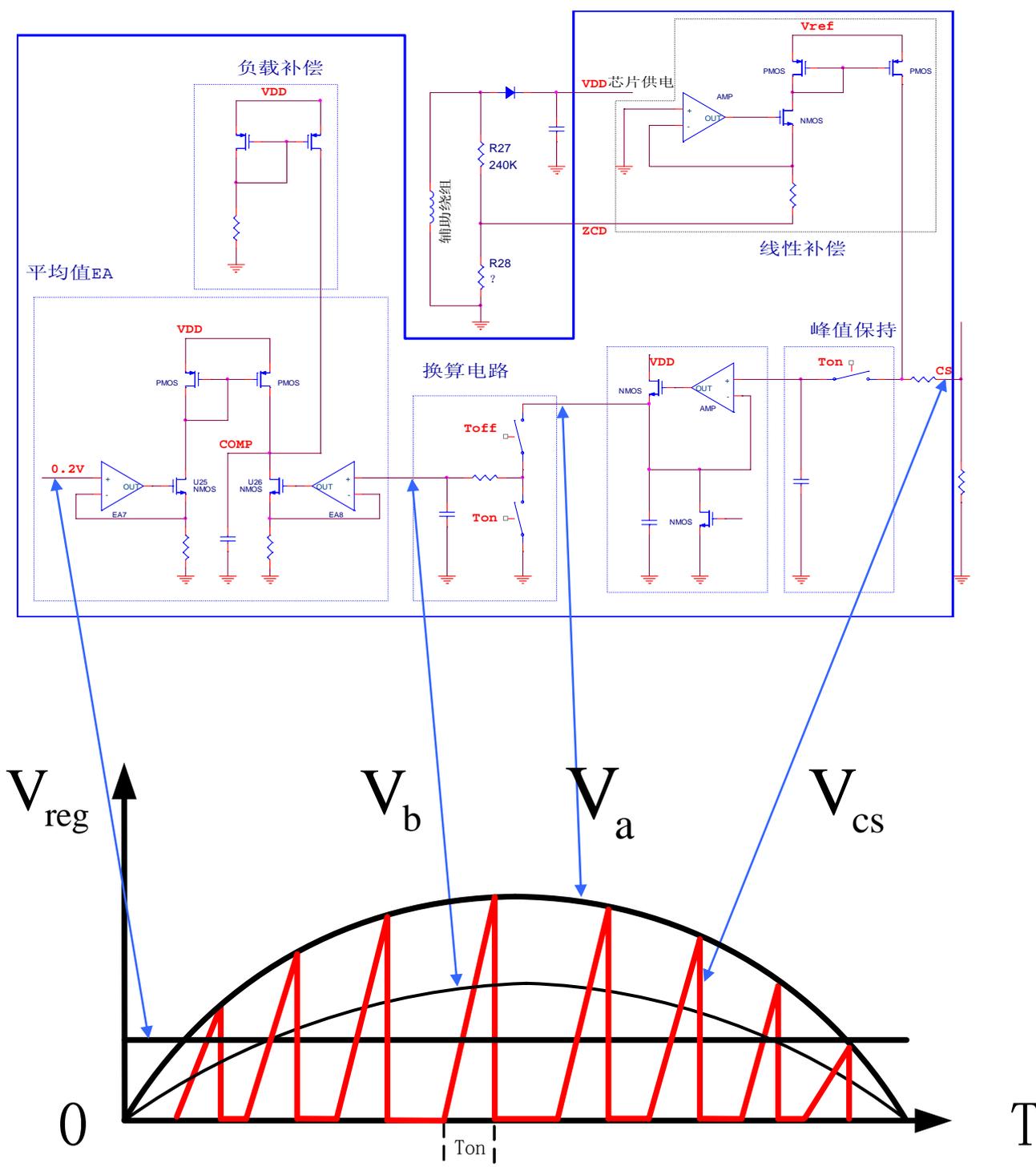


图 3、电流采样计算电路

CL1360 把初级电流采样 V_{CS} ，经过峰值保持电路，峰值包络变换电路，转化成 V_a ，

$$\text{经过换算电路，换算成 } V_b = \frac{V_a}{T} * T_{off} \text{ ——式 1}$$

然后经过平均值 EA，取 V_b 平均值，

$$V_{ref} = 0.2V = V_b * \frac{2}{\pi} = \frac{V_{cs-peak}}{T} * T_{off} * \frac{2}{\pi} = \frac{I_{p-p} * R_{cs}}{T} * T_{off} * \frac{2}{\pi} \text{ ——式 2 (此处 } V_b \text{ 为峰值，正弦波平均值换算应注意)}$$

$$\text{那么可以得出 } I_{p-p} * \frac{T_{off}}{T} * \frac{2}{\pi} = \frac{V_{ref}}{R_{cs}} \text{ ——式 3}$$

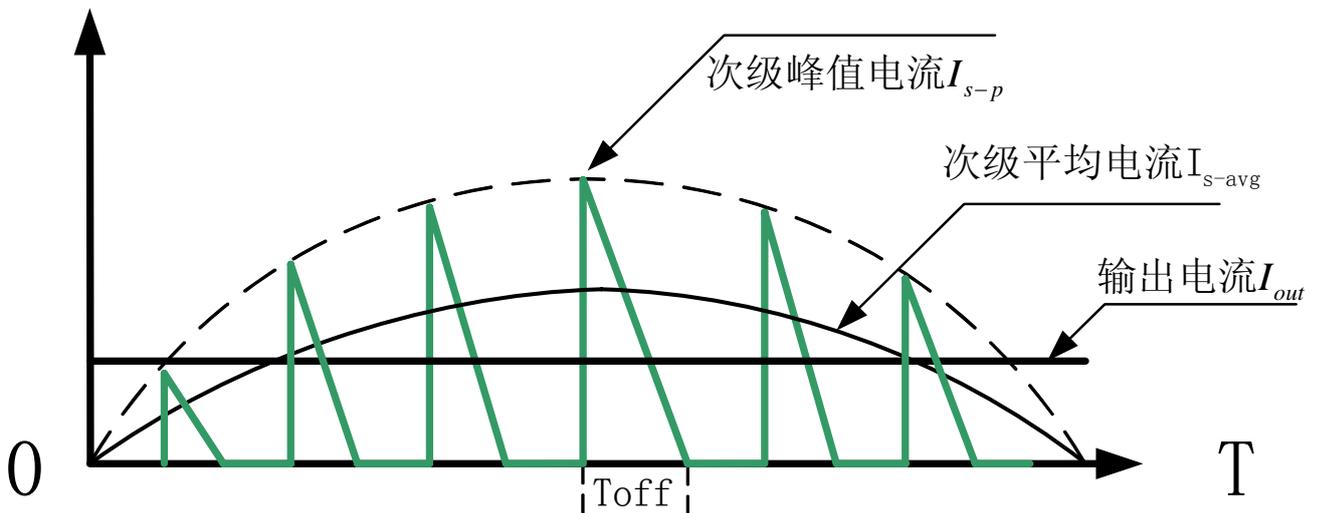


图 4、次级电流波形

$$\text{输出电流 } I_{out} = \frac{1}{2} * I_{s-p} * \frac{T_{off}}{T} * \frac{2}{\pi} \text{ ——式 4 (正弦波取平均)}$$

$$\text{变压器初次级之间电流变换公式 } I_{s-p} = n * I_{p-p} \text{ ——式 5}$$

$$\text{由式 3、4、5 得出 } I_{out} = \frac{1}{2} * n * \frac{V_{ref}}{R_{cs}} \text{ ——式 6}$$

由式 6 可以得出 $R_{cs} = \frac{1}{2} * n * \frac{V_{ref}}{I_{out}}$ ——式 7 (由于零电流检测延迟，实际值相比计算值小)

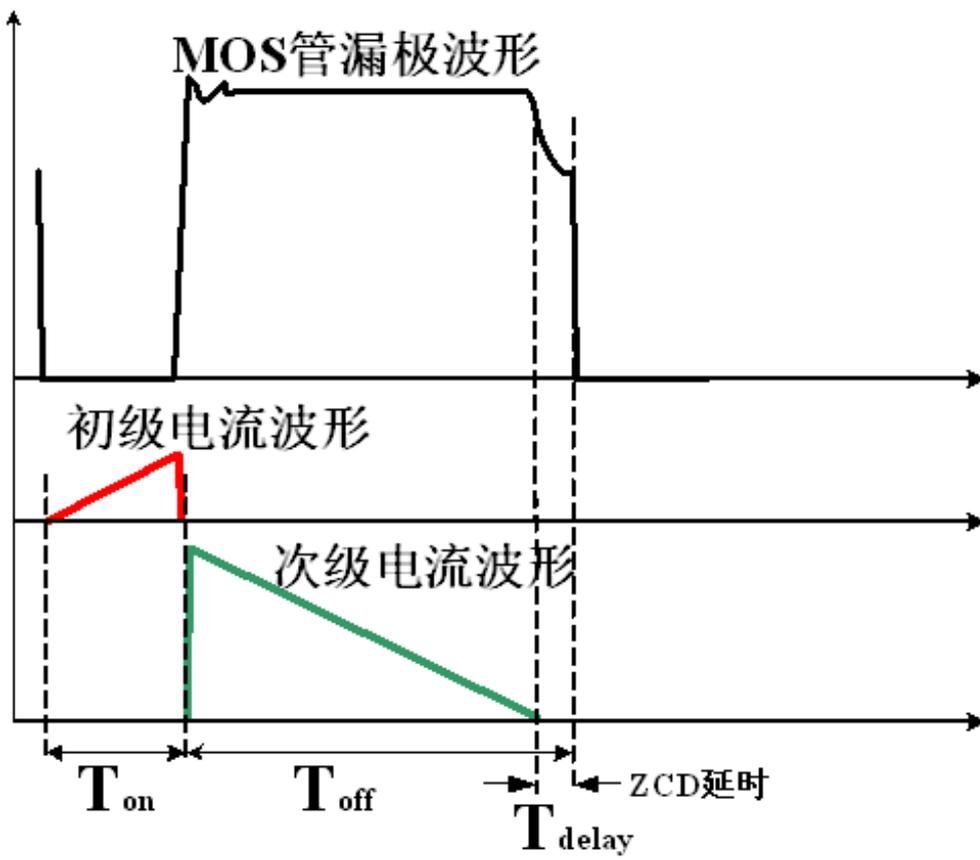


图 5、ZCD 延时

二、 设计指导

1. 启动电路设计

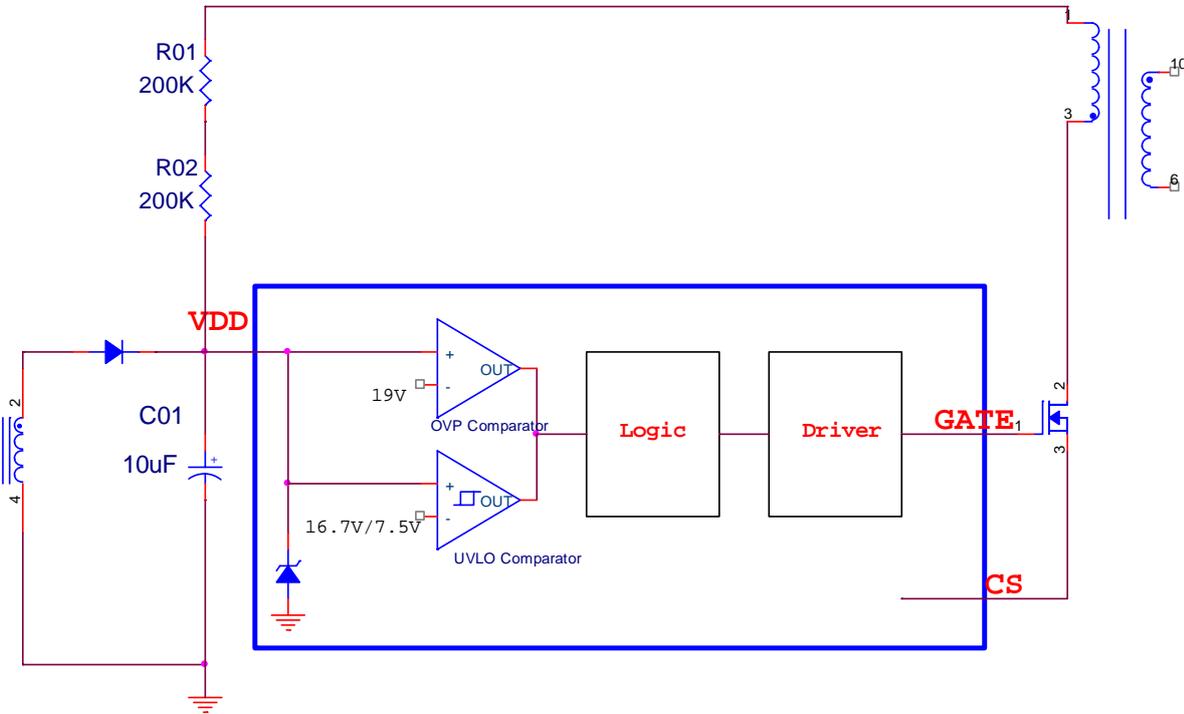


图 6、启动电路示意图

系统上电后，母线电压通过启动电阻(图中R1、R2)对芯片VDD脚外接电容（图中C1）充电，当VDD电压上升到启动阈值电压16.7V后，内部控制电路开始工作，COMP脚电压上拉到1.5V，芯片开始PWM控制，GATE脚输出驱动脉冲信号，完成启动过程。此后VDD电压由辅助绕组提供。

R1、R2通常选取200K至330K；C1通常选取10uF或22uF。

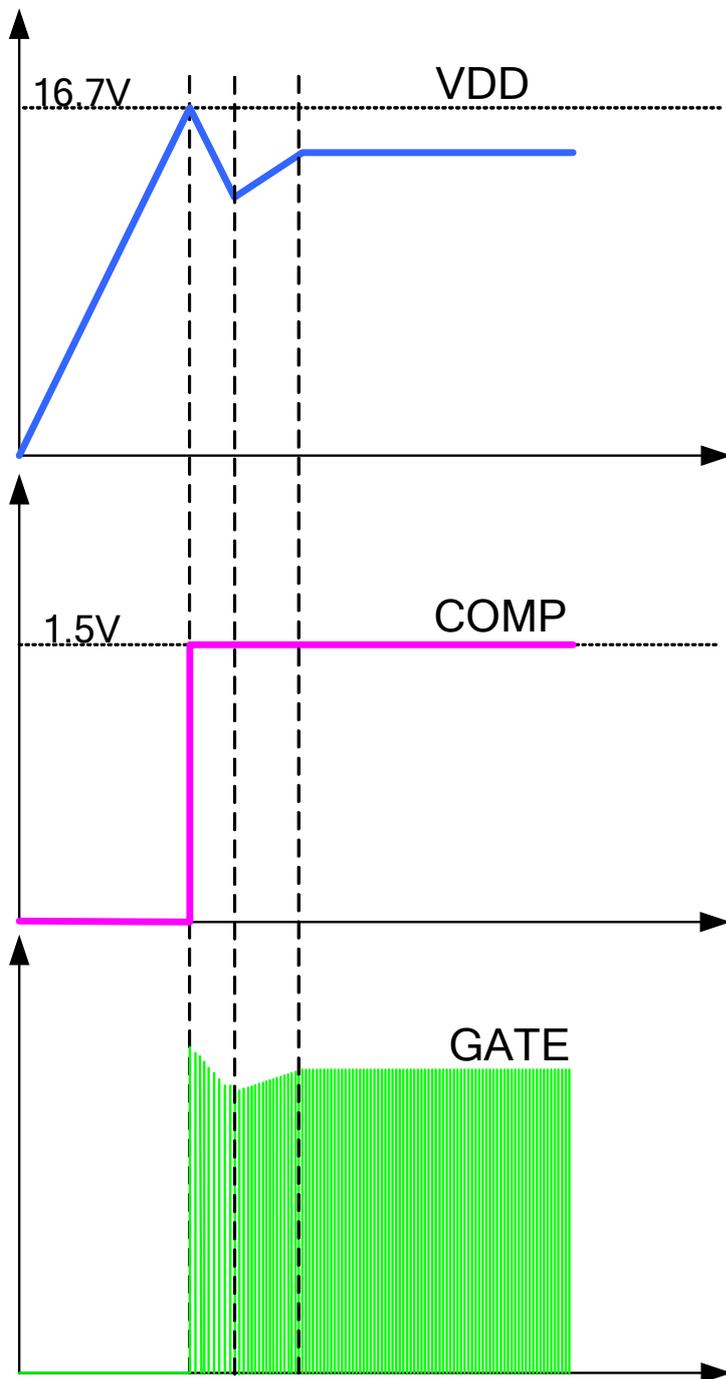


图 7、启动时序示意图

2. 线性补偿和负载补偿设计

由于关断延迟和ZCD延迟的影响，PSR类产品往往电流精度较差。为提高电流精度，CL1360芯片内部集成了线性补偿和负载补偿。（详情见图3和图8）

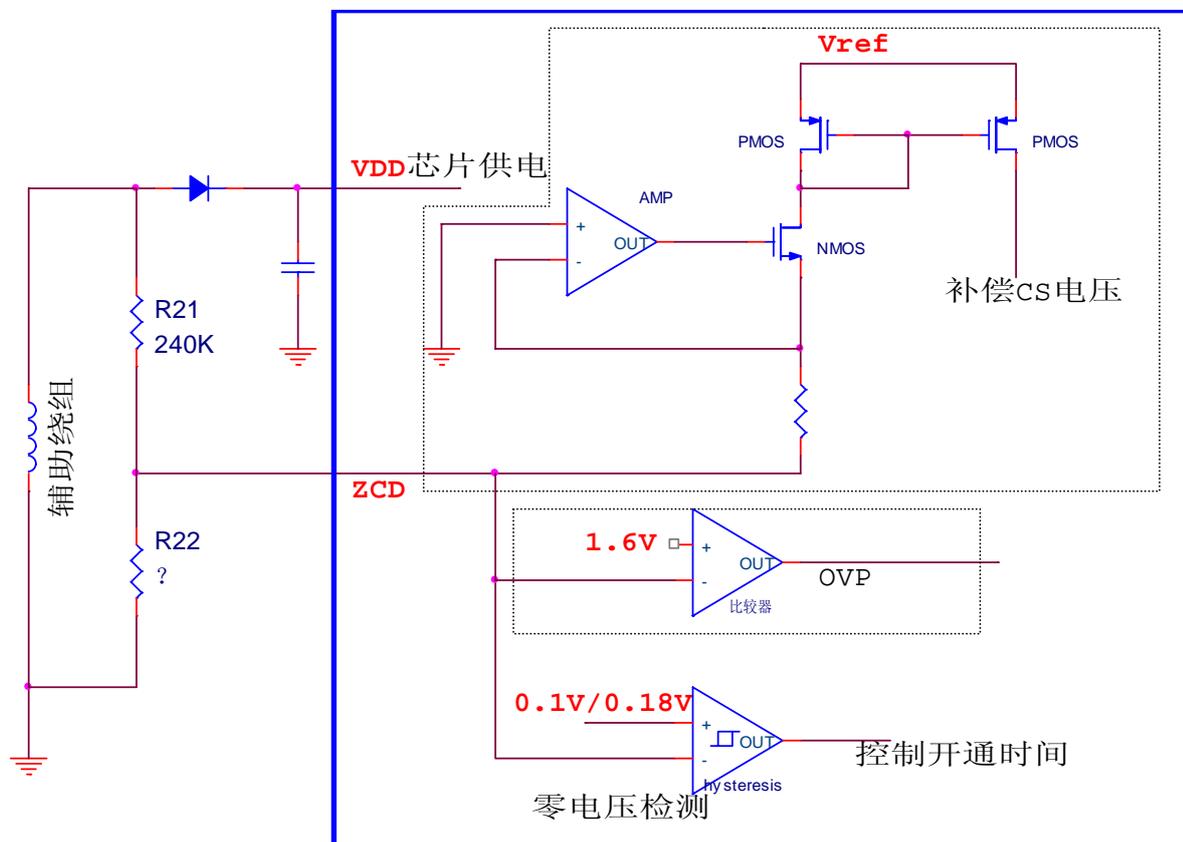


图 8、过零检测及线性补偿

如图8所示，线性补偿是通过R21调整，R21通常选用240K、270K、300K。如果高电压输入时，电流比低电压输入电流大，R21的阻值要调小，增大高电压输入时的补偿能力，压低高压输入时的输出电流。

如图3所示，负载补偿是通过内部检测VDD电压补偿输出电流。

3. 开路保护或OVP设计

CL1360有两种OVP机制，第一，检测VDD电压，当电压升高到19V OVP阈值时，发生保护。如图9所示。

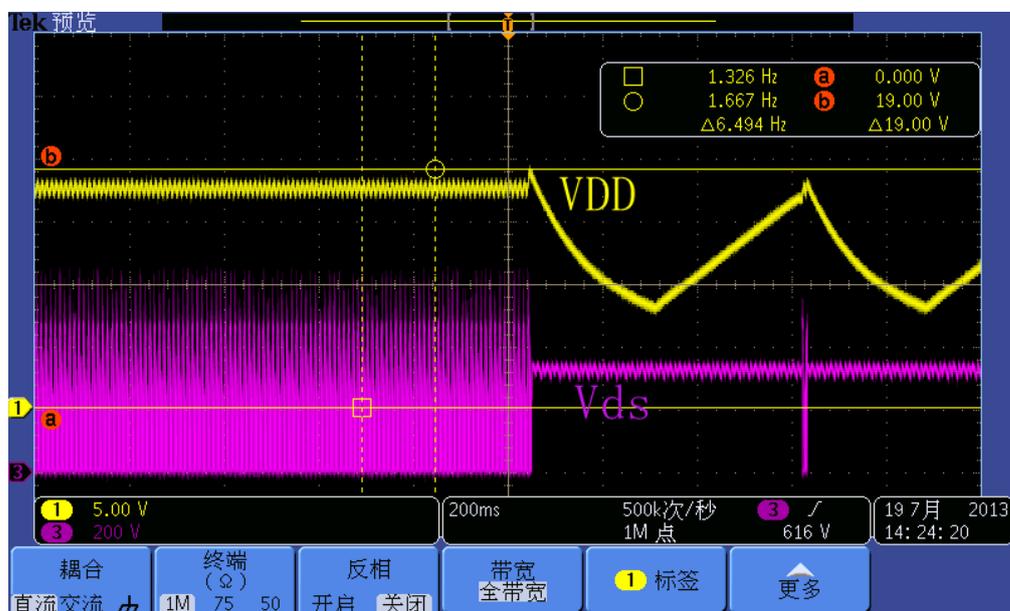


图 9、CL1360 的 VDD 实现 OVP

第二，检测芯片 ZCD 脚电压，当电压升高到 1.6V 阈值时，发生保护。如图 10 所示。

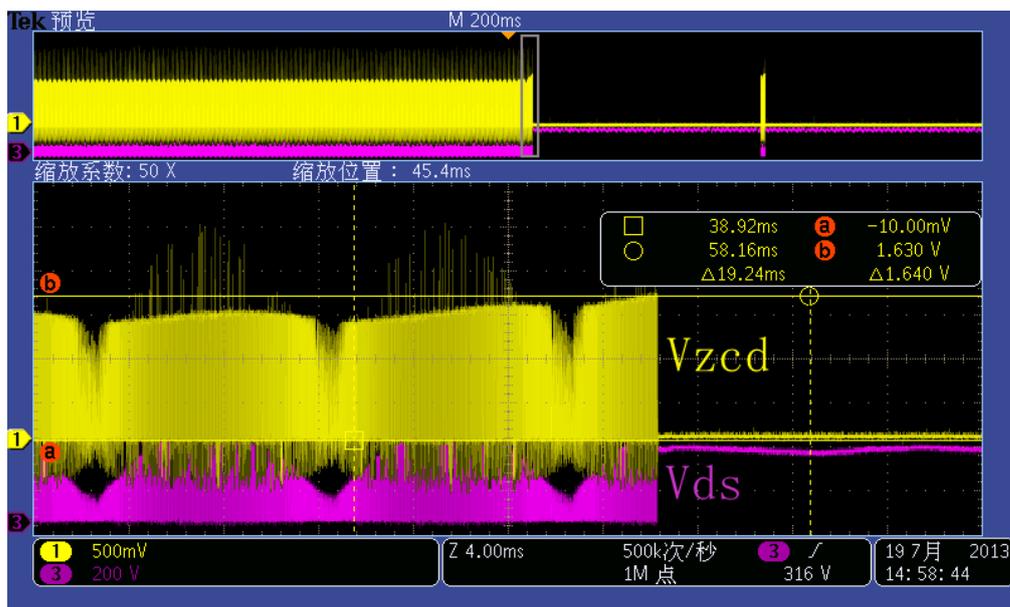


图 10、CL1360 的 ZCD 实现 OVP

4. 过流保护设计

输出过流时，CS峰值电压会比较高，当CS电压上升到1V保护阈值时，该开关周期立即停止，下个开关周期由ZCD正常触发，从而达到逐周期限流，保护功率开关管、变压器及输出续流二极管的目的。过流保护时Vcs、Vds波形及局部放大细节见图11、图12。

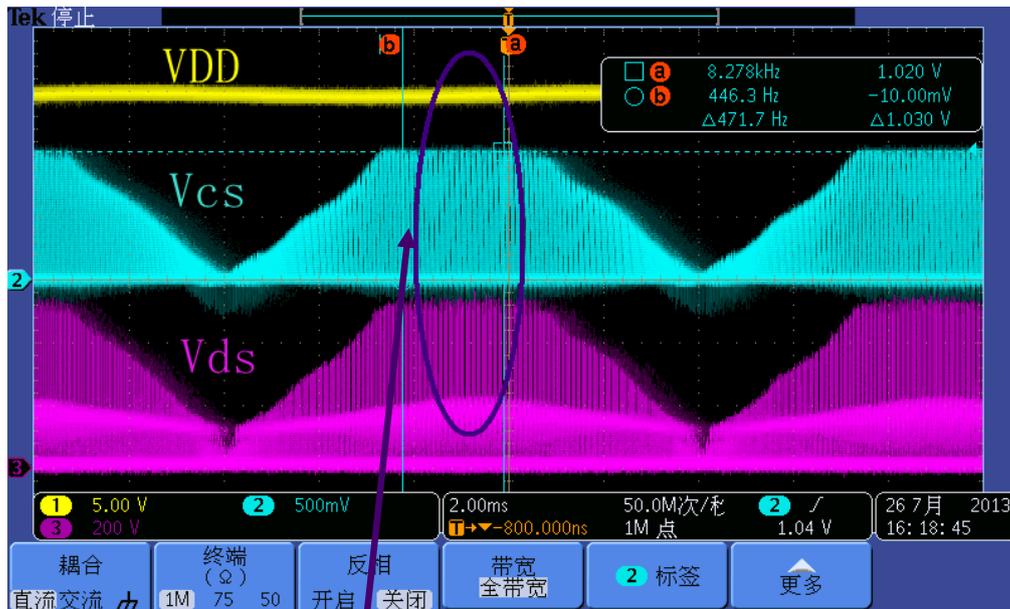


图11、CL1360逐周期限流保护

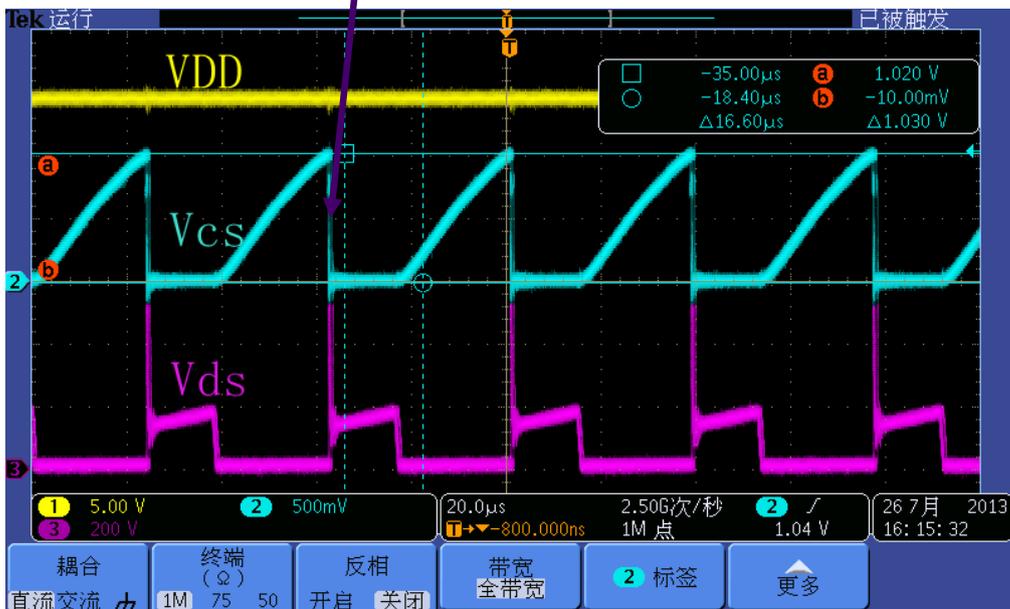


图12、CL1360逐周期限流保护局部放大

5. 短路保护设计

输出短路时，CS峰值电压会立即冲高到1V保护阈值（如图13）；短路后，系统工作在10kHz低频（见图14及图15细节放大波形），直到VDD电压掉至UVLO保护的开启阈值。

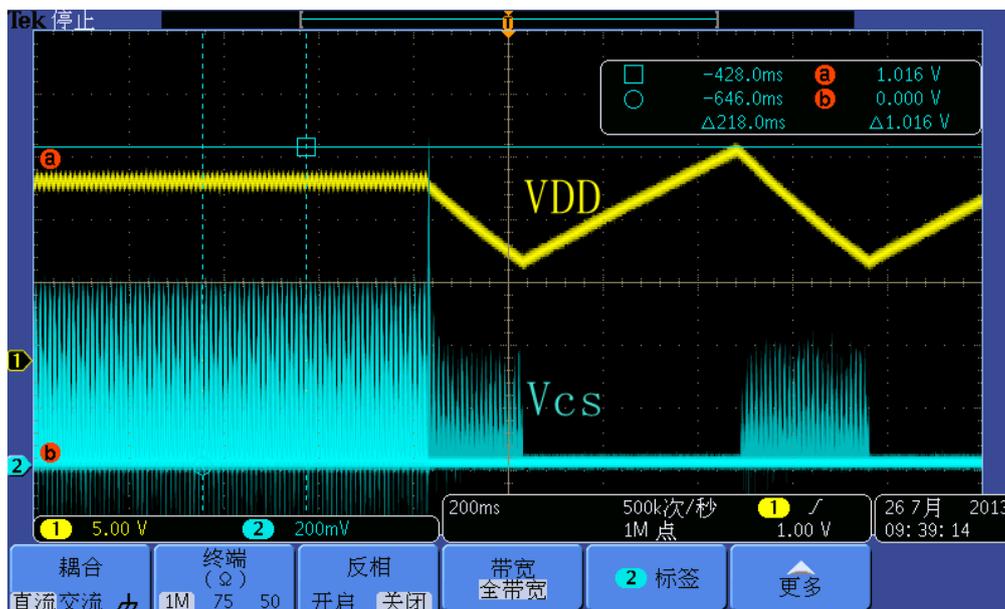


图 13、CL1360 的短路保护

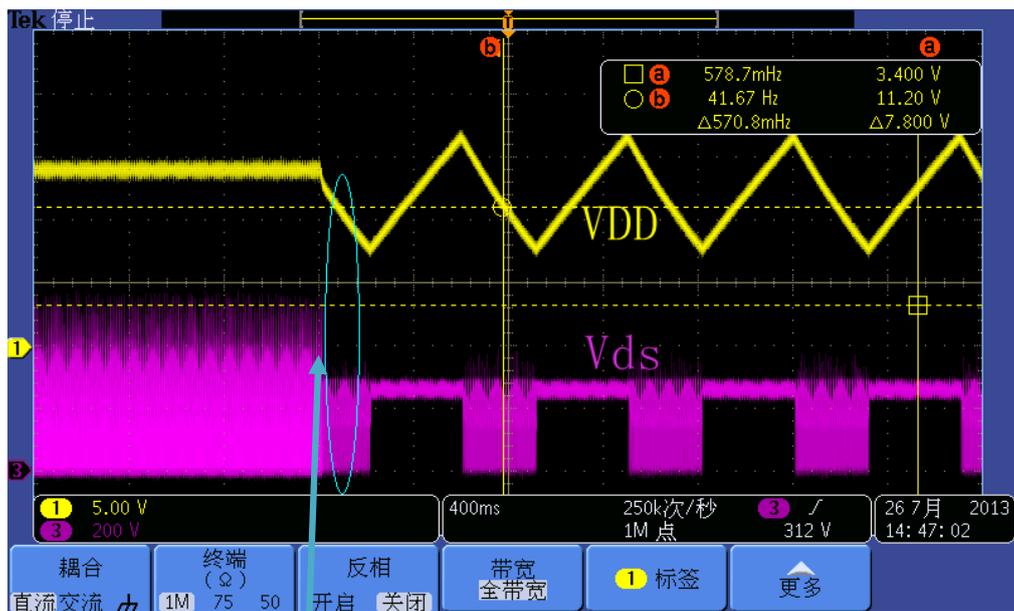


图 14、CL1360 短路保护时的 VDD 和 Vds 波形

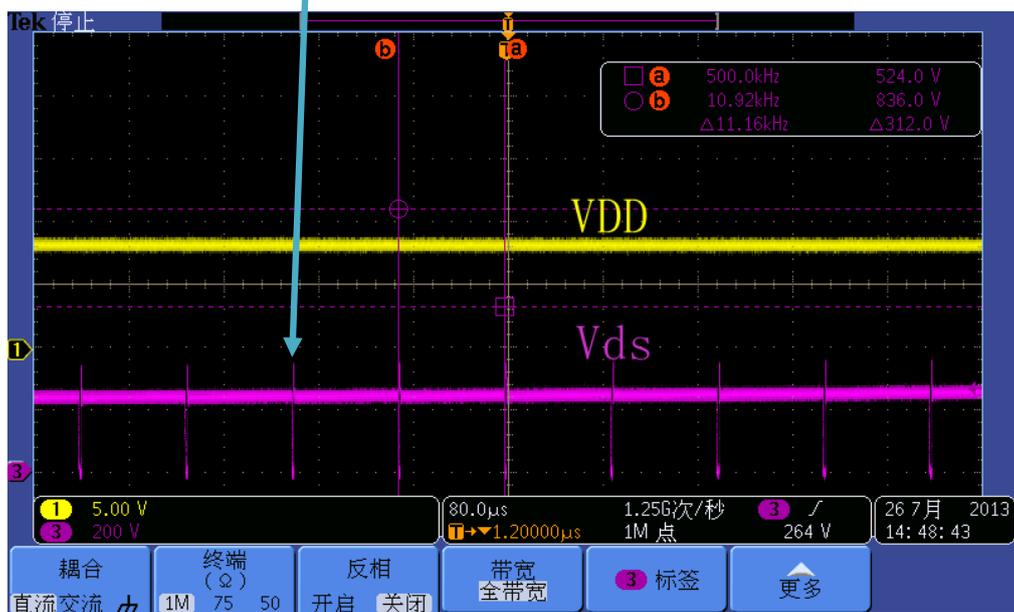


图 15、CL1360 短路保护时的 VDD 和 Vds 细节放大波形

CL1360 进入 OVP 或短路保护状态后，VDD 电压开始下降，当 VDD 掉至 UVLO 保护的开启阈值后，系统会重新启动。同时 CL1360 会不断检测系统状态，若异常情况仍然存在，则保护继续进行；若故障解除，则系统会重新开始正常工作。

6. 变压器设计

建议使用CL1360设计助手进行设计。

7. 设计实例

假设设计一款：输入90V~264V，输出电流为430mA，最大输出电压设为43V适用于内置T8灯管的LED驱动电源。

第一步：预估效率86%；选用EDDR2810变压器，EDDR2810变压器Ae为85mm²；把系统最小开关频率设为60K（注：推荐最小开关频率选择在35K-65K频率范围之内）；反射电压取132V；峰值磁通密度取0.26T。

第二步：利用CL1360设计助手计算出变压器理论参数，如图16。

| 交流输入参数设置 | | |
|------------------------------|--------|-----------------|
| 最小输入电压: (V_{line}^{min}) | 90.00 | Vac |
| 最高输入电压: (V_{line}^{max}) | 264.00 | Vac |
| 输入交流电频率: (f_L) | 50.00 | Hz |
| 输入功率: (P_{in}) | 21.50 | Watt |
| 输入电容选择: (C_I) | 267 | nF |
| 输出参数设置 | | |
| 输出电压: V_{out} | 43.00 | Vdc |
| 输出电流: I_{out} | 430 | mA |
| 最大输出电压纹波: (V_{r-p}) | 3.20 | V |
| 输出整流管压降: (V_f) | 1.00 | V |
| 输出功率: P_{out} | 18.49 | Watt |
| 输出滤波电容容量: (C_O) | 451.65 | uF |
| 系统参数设计 | | |
| 预估转换效率: (E_{ff}) | 86.00 | % |
| 最小开关频率: (f_{smin}) | 60.00 | KHz |
| 反射电压: (V_{OR}) | 132.00 | V |
| 漏感尖峰脉冲电压: (ΔV) | 80.00 | V |
| 变压器参数设计 | | |
| 变压器磁芯截面积: (A_e) | 85.00 | mm ² |
| 变压器磁芯峰值磁通: (B_{peak}) | 0.260 | T |

图 16

第三步：参考变压器理论计算值，对变压器实际参数进行调整，调整范围正负10%。（图17）

| | | | | | | | | |
|---------------------|------|---------|----------|---------------------------------|--------|-------|----------|-------|
| 初级电感量: (L_p) | 0.87 | μH | ----->>> | 根据参考值选择实际值 初级电感量 | 0.87 | < > | μH | |
| 初级匝数: (N_p) | 48.1 | T_s | ----->>> | 根据参考值选择实际值 初级匝数 | 48.1 | < > | T_s | |
| 次级匝数: (N_s) | 16.0 | T_s | ----->>> | 根据参考值选择实际值 次级匝数 | 16.0 | < > | T_s | |
| 辅助匝数: (N_{aux}) | 5.4 | T_s | ----->>> | 根据参考值选择实际值 辅助匝数 | 5.0 | < > | T_s | |
| | | | | 初级线径 | 0.27 | < > | mm | ->OK! |
| | | | | 初级并联股数 | 1 | < > | | |
| | | | | 初级绕组电流密度 | 6.6 | | A/mm^2 | ->OK! |
| | | | | 次级线径 | 0.36 | < > | mm | ->OK! |
| | | | | 次级并联股数 | 1 | < > | | |
| | | | | 次级绕组电流密度 | 8.6 | | A/mm^2 | ->OK! |
| | | | | 趋肤深度 | 0.25 | | mm | ->OK |
| | | | | 实际系统参数 | | | | |
| | | | | VCC电压 | 13.7 | | V | ->OK! |
| | | | | 最小开关频率: (f_{swmin}) | 62.1 | | KHz | ->OK! |
| | | | | 磁芯峰值磁通密度: (B_{peak}) | 0.26 | | T | ->OK! |
| | | | | 磁芯最大峰值磁通密度: (B_{sat}) | 0.327 | | T | ->OK! |
| | | | | 反射电压: (VOR) | 132.0 | | V | ->OK |
| | | | | 最小峰值电压与反射电压比率: (Kv) | 0.93 | | | |
| | | | | 初级峰值电流: (I_{P-PEAK}) | 1.23 | | A | ->OK! |
| | | | | 初级有效电流: (I_{P-RMS}) | 0.38 | | A | ->OK |
| | | | | 初级MOS管最大应力: (V_{D_S}) | 585.35 | | V | ->OK! |
| | | | | 次级峰值电流: (I_{S-PEAK}) | 3.24 | | A | ->OK |
| | | | | 次级有效电流: (I_{S-RMS}) | 0.88 | | A | ->OK |
| | | | | 次级整流管理论最大应力: ($V_{D_R_MAX}$) | 167.43 | | V | ->OK |
| | | | | 采样电阻设计 | | | | |
| | | | | CS采样电阻: (R_{CS}) | 0.65 | | Ω | ->OK |
| | | | | CS最高电压: (V_{CS}) | 0.80 | | V | ->OK! |

图 17

第四步：对照原理图（图18），根据CL1360设计助手推荐的BOM表参数（图19），进行实际调试验证。

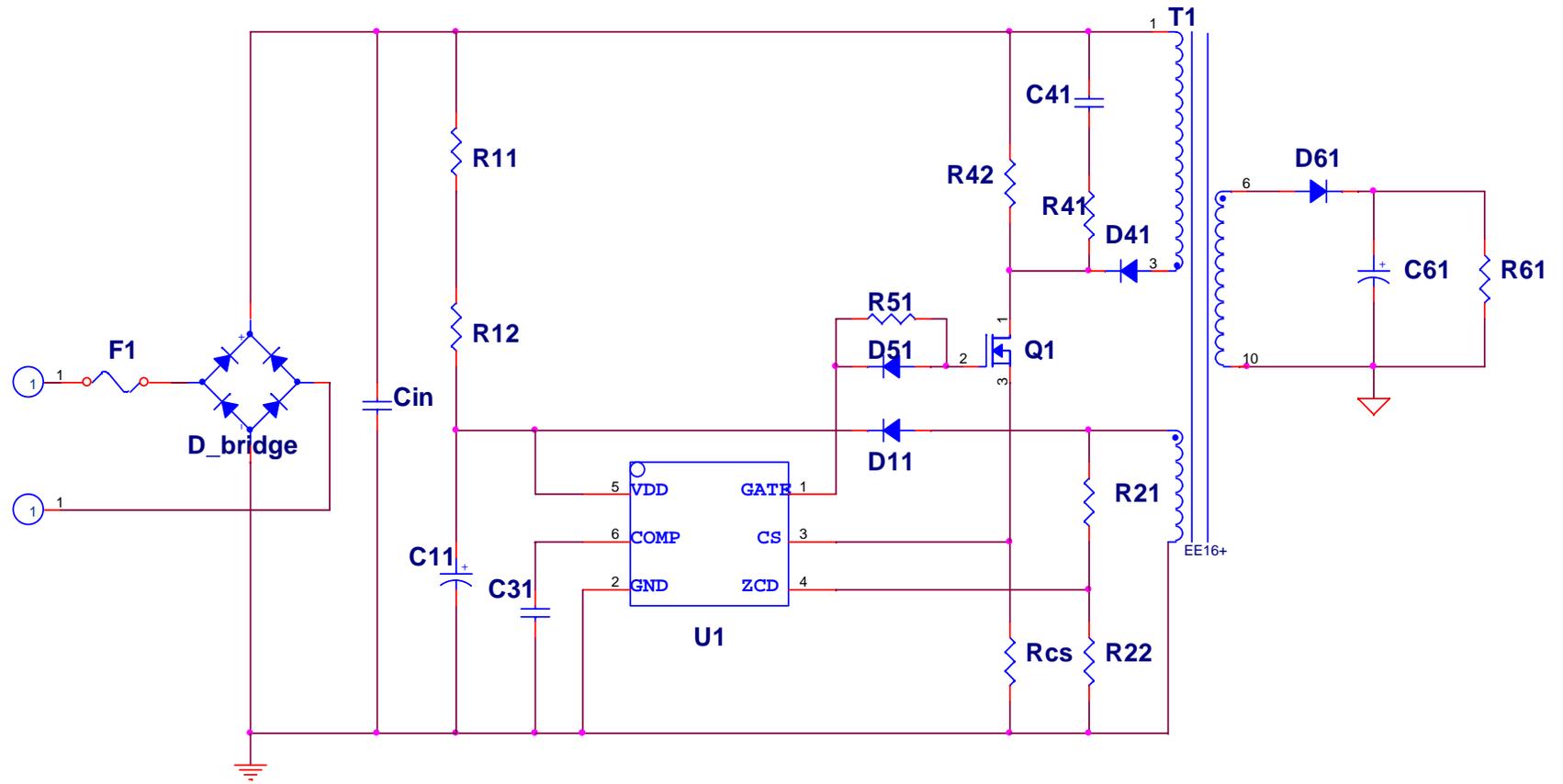


图 18

| | | | | | | |
|--------|----------|--------|--------|------------------------------------|-------|-------|
| 输入 | Cin | 267 | nF | 备注：此电容为总电容值，包括X电容。电容值太大，PF低；电容值太 | | |
| | D_bridge | 耐压要求 | 推荐型号 | DB106 | | |
| | | 过流要求 | | | | |
| 启动部分 | D11 | 推荐型号 | FR107 | | | |
| | R11 | 330.00 | K | | | |
| | R12 | 330.00 | K | 备注：调节启动时间 | | |
| | C11 | 22.00 | uF | | | |
| ZCD | R21 | 240.00 | KΩ | | | |
| | R22 | 23.85 | KΩ | | | |
| 环路补偿 | C31 | 1.00 | uF | | | |
| CS电阻 | Rcs | 0.65 | Ω | 备注：由于ZCD检测延迟，实际取值与计算值略有出入，以调试为主。 | | |
| RRCD吸收 | D41 | 推荐型号 | 1N4007 | | | |
| | R41 | 65 | Ω | 备注：调试为主，理论计算为辅。 | | |
| | R42 | 25 | KΩ | 备注：调试为主，理论计算为辅。 | | |
| | C41 | 1.42 | nF | 备注：调试为主，理论计算为辅。 | | |
| 功率管部分 | D51 | 推荐型号 | 1N4148 | | | |
| | R51 | 300.00 | Ω | 备注：调大该电阻可以优化EMI，缺点是减低效率，同时增加ZCD延迟。 | | |
| | Q1 | 耐压要求 | 推荐型号 | CS4N65 | 额定耐压 | 650 V |
| 过流要求 | | | | 额定过流 | 4 A | |
| 次级部分 | D61 | 推荐型号 | SR2200 | 额定耐压 | 200 V | |
| | C61 | 451.65 | uF | 额定过流 | 2 A | |
| | R61 | 20.00 | KΩ | 备注：按照千分之五满负载计算。 | | |

图 19