

# 基于 IRS2168D 的串联双 14W TL5 荧光灯镇流器的设计(下)

张祥东 李肖寅 周昌和 桑高元

(飞利浦照明灯具区域开发中心(RDC),上海 201801)

(续上期)

## 5.2 Ballast 部分<sup>[2]</sup>

半桥逆变器由  $M_{HS}$  和  $M_{LS}$  以及 LCC 共振网络(负载)组成。在本方案中我们设定工作频率  $f_{opr} = 48\text{kHz}$ , 预热频率  $f_{preh}$  约为  $84\text{kHz}$ , 触发频率  $f_{ign}$  约为  $59\text{kHz}$ 。可用基波近似方法(FHA)来设计和选取  $L_{res}$  和  $C_{res}$  的合理数值。

在选定隔直电容  $C_{bc} = 100\text{nF}/400\text{V}$  和 PFC 输出电压  $V_{bus} = 400\text{V}$  的条件下,半桥的基波有效值为:

$$V_{hb.rms} = \sqrt{2}V_{bus}/\sqrt{3} = 180\text{V} \quad (5)$$

T5 14W 灯管的参数是有效值  $85\text{V}/170\text{mA}$ , 两灯串联后可以等效成一个 28W 的 T5 灯管,其参数可认为如下:等效灯管电压  $V_{lamp.rms} = 170\text{V}$ , 冷触发电压为  $230\text{Vrms}$ , 预热电流为  $0.21 \sim 0.25\text{A}$ , 等效灯管电阻  $1\text{k}\Omega$ ; 正常工作时  $I_{Lres}$  为  $0.17 \sim 0.24\text{A}$ ,  $I_{Cres} < 165\text{mA}$ , 我们设定:  $I_{Lres} = 220\text{mA}$ ,  $I_{Cres} = 140\text{mA}$ ,  $I_{lamp.rms} = 0.17\text{A}$  (5%)。在灯管点燃后,灯电压有效值  $V_{lamp.rms}$  和  $V_{bus}$  基波有效值  $V_{hb.rms}$  的增益  $M_b$  可表示如下:

$$|M_b| = V_{lamp.rms}/V_{hb.rms} = R_{lamp}/\sqrt{[(R_{lamp} - \omega^2 L_{res} \times C_{res} \times R_{lamp})^2 + (\omega L_{res})^2]^{0.5}} = 170/180 = 0.94 \quad (6)$$

式中:  $\omega = 2\pi f_{opr} = 3.0 \times 10^5 \text{ (rad/s)}$

$$I_{Cres.rms} = V_{lamp.rms}/[1/(\omega C_{res})] = 140\text{mA} \quad (7a)$$

计算得到:

$$C_{res} = 3.3\text{nF} \quad (7b)$$

$$I_{Lres} = [I_{lamp.rms}^2 + I_{Cres.rms}^2]^{0.5} = 0.219\text{A} \approx 220\text{mA} \quad (8)$$

根据(6)、(7b)可以选择一个合适的  $L_{res}$ , 我们定为:  $L_{res} = 3.6\text{mH}$ ,  $C_{res} = 3.3\text{nF}$ 。

然后选定预热和触发频率,使得灯管不会提早触发,并保证预热电流在合适的范围内。在预热和触

发阶段,灯管开路可等效为  $R_{lamp} = 1\text{k}\Omega$ , 于是(6)式可简化为:

$$|M| = V_{lamp.rms}/V_{hb.rms} = 1/\sqrt{[1 - \omega^2 L_{res} \times C_{res}]^2 + (\omega L_{res})^2} \quad (9)$$

预热频率  $f_{preh} = 84\text{kHz}$ ,  $f_{ign} = 59\text{kHz}$  下,  $M_{ph} = 0.62$ ,  $M_{ign} = 2.78$ , 对应的灯电压为:  $V_{ph.rms} = 110\text{V}$ ,  $V_{ign.rms} = 500\text{V} > 2 \times 230\text{V} = 460\text{Vrms}$ 。

预热电流为  $I_{ph.rms} = V_{ph.rms}/[1/(\omega_{ph} C_{res})] = 0.21\text{A}$ , 在  $0.21 \sim 0.25\text{A}$  范围内。触发瞬间电流为  $I_{ign.rms} = V_{ign.rms}/[1/(\omega_{ign} C_{res})] = 0.5\text{A}$ , 将这个电流折算成峰值(0.71A)后,可以选择半桥 MOS 管, 本文的设计选择 IRF830A (规格:  $500\text{V}/3\text{A}$ )。

此外,由于采用电压预热模式,需要选择预热绕组的匝数。本文的设计是从镇流电感的主绕组上拉出三组辅助线圈作为三个灯丝的预热电压绕组。该主辅绕组的匝比理论计算较复杂,可以用基波近似方法(FAM)估算,或者用仿真软件如 Spice/SCAT 先确定镇流电感在预热时的有效电压值,再根据所需要的灯丝预热电压有效值(本文中选为  $7\text{Vrms}$ ),即可确定初始匝比;然后用  $30\Omega$  电阻来替代灯丝在实际电路板上进行匝比的微调。最终确定匝比为 25, 主绕组为 150 圈, 辅助绕组各为 6 圈。

预热绕组输出经过一个 LC 带通滤波器。LC 的参数选择与预热、触发和点燃频率有关,原则上是在预热频率下,辅助绕组电压大部分能加到灯丝上;而在触发和点燃频率下,该绕组电压经衰减后加到灯丝上,减少灯丝发热量和损耗。图 3 的原理图  $CH_{1,2,3}$  处还要插入小电感  $L$ , 其参数可选择为:  $L = 390\mu\text{H}$ ,  $C = 10\text{nF}$ 。

于是,在选定镇流器参数的条件下,得到如图 4 所示的随着工作时序而变化的灯电压增益曲线。

## 6 测试数据和主要波形

### 6.1 性能数据测试表

表 1 14W 两灯镇流器性能数据测试表

测试项目	规格要求	2 ×14W 实测数据	
1. 输入电压 (Vrms)	100 ~ 242 (10%)	100	200
2. 输入电流 (Arms)	< 0.35	0.313	0.155
3. 系统功率 (W)	< 33	31.3	30.4
4. 功率因数 (PF)	> 0.95	0.998	0.981
5. $I_{LH}$ 电流 (A)	NA	0.22	
6. $I_L$ 电流 (mArms)	< 165	120	
7. 灯电流 (Arms)	0.17 (5%)	0.163	
8. 单灯电压 (Vrms)	85 (5%) <sup>[1]</sup>	86.44	
9. 单灯管功率 (W)	14 (10%) <sup>[1]</sup>	13.5	
10. 灯丝预热电压 (VMH) <sup>[2]</sup> (Vrms)	6.4 ~ 8.4	7.5	
11. 灯丝预热电流 (Arms)	0.20 ~ 0.25	0.23	
12. 预热和触发灯管预热电压 (OCV1) (Vrms)	130 <sup>[1]</sup>	86	
预热时间 (s)	1.6	1.59	
灯丝预热 Rh/Rc	3.8 ~ 5.5	4.9	
灯管触发电压 (OCV2) (Vrms)	> 230 <sup>[1]</sup>	487/2	
13. 工作频率	NA	48.2	48.2
14. 灯电流波形系数 (CF)	< 1.7	1.30	
15. 镇流器正常工作功耗 (W)	< 5	4.3	3.4
待机功耗 (W)	< 1.0	0.1	0.2
16. THD (%)	< 15	4.8	10.0
17. 谐波	IEC61000-3-2	OK	
18. EMI	PS-E	OK	
19. EOL 保护	Psym = 5 ~ 15W	~ 11.0W	
对称负载保护	Psym > 7.5W	> 20W	

注: (1) 数据以 14W 一灯为基准, 其他数据默认为两灯基准;  
(2) 表示电压预热模式。

## 6.2 典型波形

各状态下所测波形如图 5 ~ 14 所示。

### 6.2.1 输入电压和输入电流

测试条件: 100Vac、CH1- $V_{in}$  (上)、Ch2- $I_{in}$  (下), 输入电压和电流波形见图 5(a);

测试条件: 200Vac、CH1- $V_{in}$ 、Ch2- $I_{in}$ , 输入电压和电流波形见图 5(b)。

### 6.2.2 预热动作

测试条件: 100Vac、CH1- $V_{CPH}$ 、Ch2- $I_{cathod}$ , 预热波形见图 6(a);

测试条件: 100Vac、CH1- $V_{cathod}$ 、Ch2- $I_{cathod}$ , 预热波形见图 6(b)。

### 6.2.3 触发动作

测试条件: 100Vac、CH1- $V_{lamp}$ 、Ch2- $I_{cathod}$ , 灯管预热和触发动作波形见图 7(a);

测试条件: 100Vac、CH1- $V_{lamp}$ 、Ch2- $I_{cathod}$ , 灯管预热和触发动作波形见图 7(b)。

### 6.2.4 点燃动作

测试条件: 100Vac、CH1- $V_{lamp}$ 、Ch2- $I_{lamp}$ ,  $V_{lamp}$  和  $I_{lamp}$  波形见图 8;

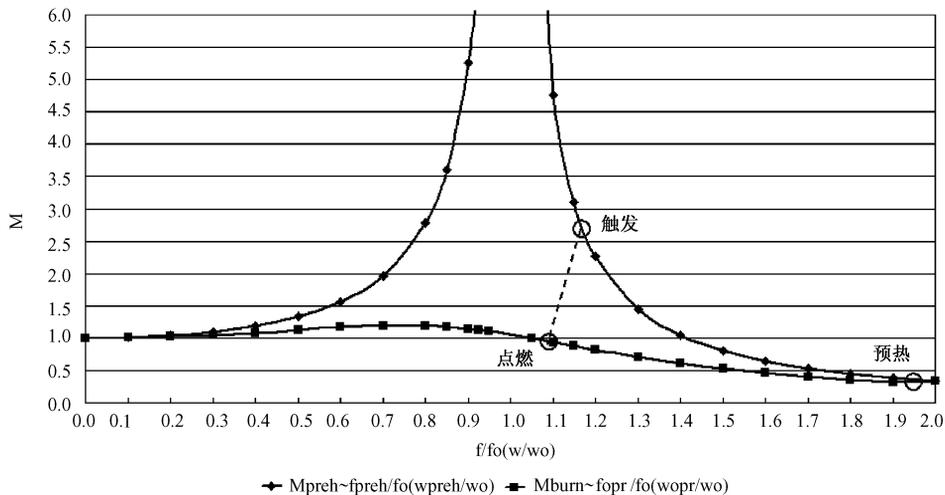


图 4 工作过程中灯管电压增益变化曲线

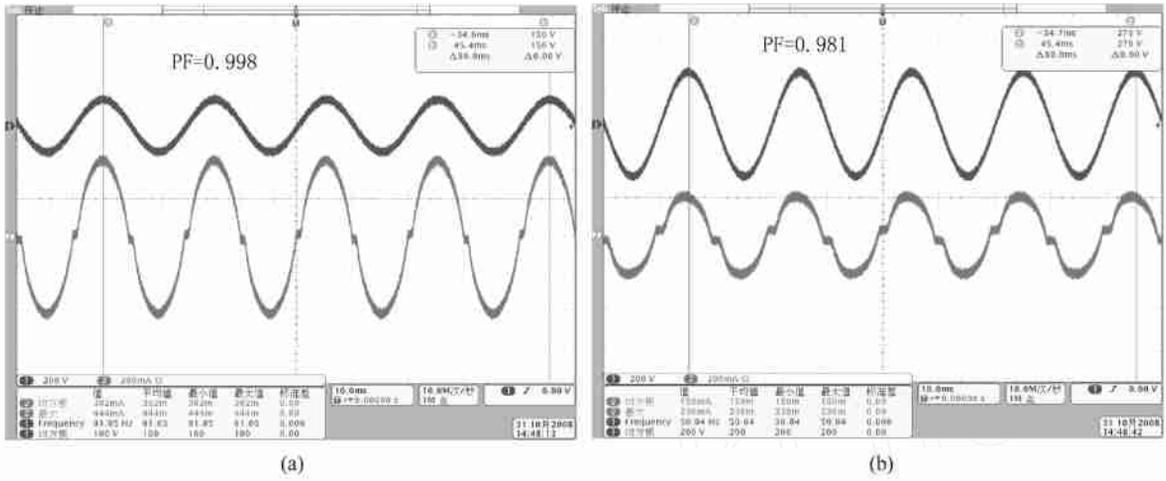


图5 输入电压和输入电流波形

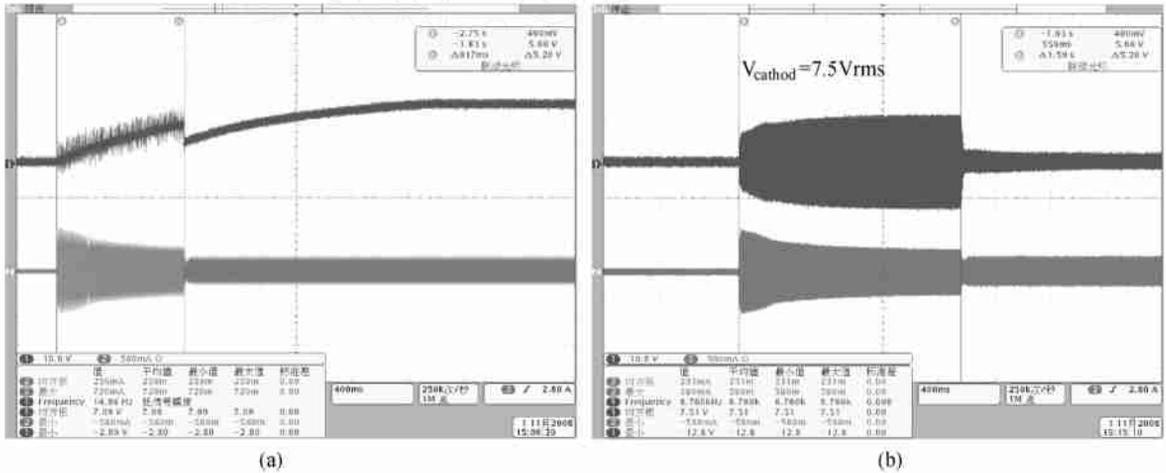


图6 镇流器预热波形

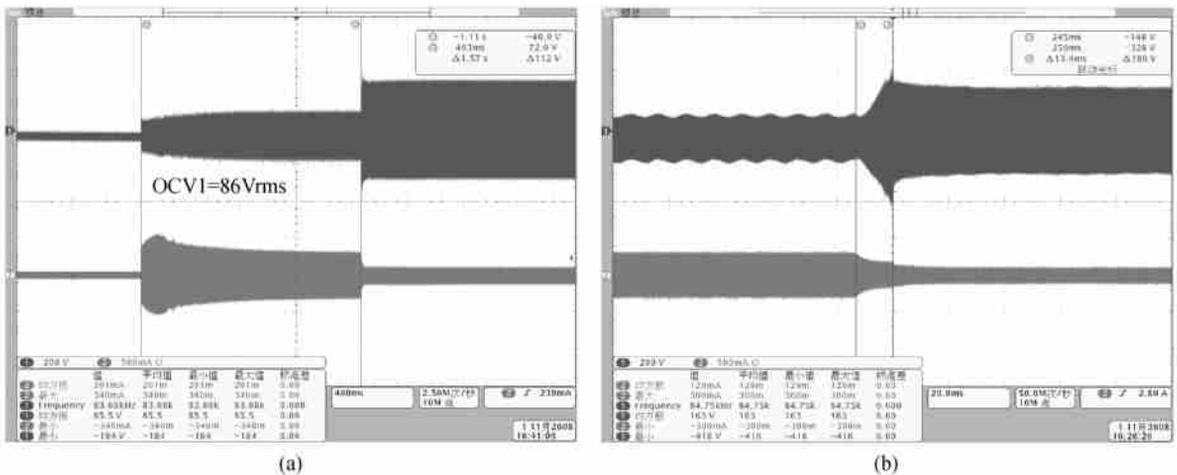


图7 灯管预热和触发动作波形

测试条件:100Vac、CH1-Vs、Ch2-I<sub>lamp</sub>, Vs 和 I<sub>lamp</sub> 波形见图 9。

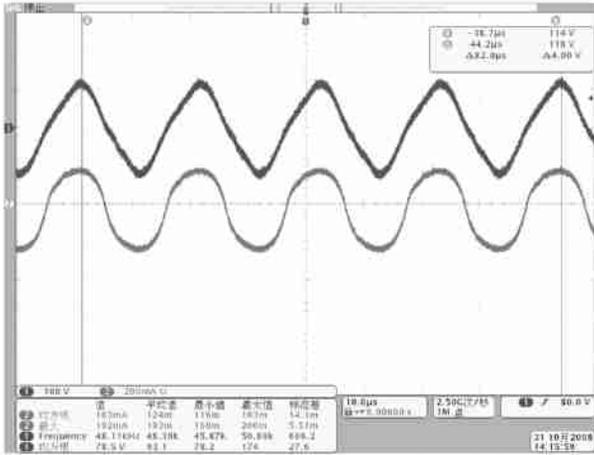


图 8 V<sub>s</sub>和 I<sub>lamp</sub>波形

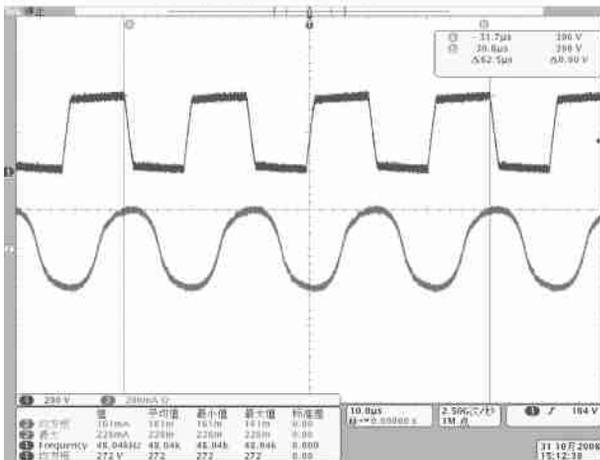


图 9 V<sub>s</sub>和 I<sub>lamp</sub>波形

6.2.5 低输入电压保护(UVR)

测试条件:Vin. ac = 150V 75V 150V; CH1 - V<sub>bus</sub>(左)、CH1 - V<sub>bus</sub>(右)、CH2-I<sub>lamp</sub>, 低输入电压保护(UVR)动作波形见图 10。

6.2.6 换灯(Re-lamp)动作

测试条件:100Vac、CH1-V<sub>SD/EOL</sub>、Ch2- I<sub>lamp</sub>,换灯动作波形见图 11。

6.2.7 漏气等灯管不触发动作

测试条件:100Vac、CH1-V<sub>lamp</sub>、Ch2- I<sub>cathod</sub>,漏气灯管起动作波形见图 12。

6.2.8 EOL(整流效应)动作

EOL(整流效应)动作波形见图 13。

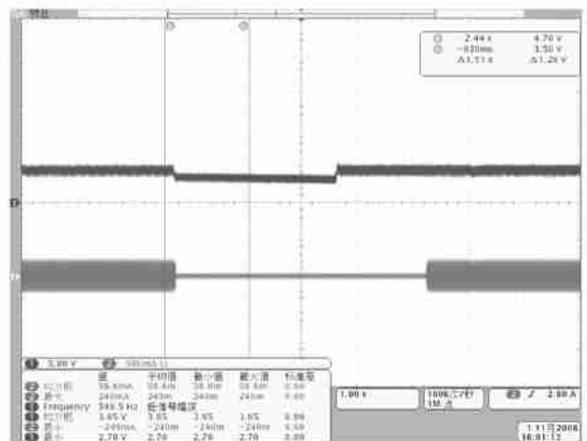
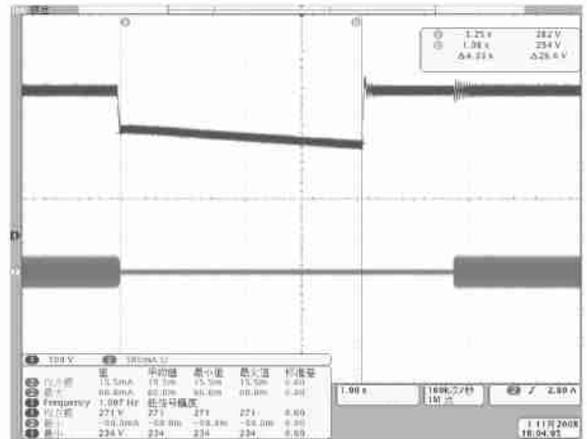


图 10 低输入电压保护(UVR)动作波形

6.2.9 EMI测试

EMI测试结果见图 14。

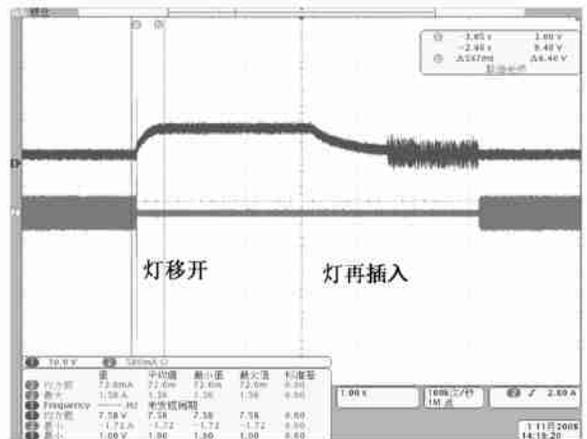


图 11 换灯(Re-lamp)动作波形

(下转第 20 页)

6K表明电容器自身工作功率偏大或电容的电流值不够,  $C_s$  容易发生龟裂故障。电容量的标称值应尽量与计算的电容值相一致或尽量接近, 其误差选 J 级。在使用电容器之前, 应对电容器的质量进行检查, 以防不符合要求的电容器装入电路。

电子镇流器与灯管的匹配是很重要的。在启动阶段: 灯阴极预热时间要大于 0.4s, 预热电流不能大于灯管的额定值, 此时的谐振电压必须小于灯管的辉光放电电压。启动时, 辉光放电的时间要短并使其迅速转入弧光放电。如果采用 PTC 热敏电阻, 一定要对它进行确认。因为, 有的 PTC 的寿命还没有灯管

的寿命长, 有的 PTC 自身损耗大, 使线路输入功率增大, 有的 PTC 工作温度高, 热辐射将周边的元件烤坏。一般来说, 选用智能型的热敏电阻为好。在启动及工作阶段, 保持 36 阻抗角, 不但谐振腔内元件的电应力小, 而且点灯时功率管的开关损耗低, 使灯电路达到应有的可靠性。供给合适的灯丝电流, 可使光效最大化, 镇流器的效率(灯管功率与输入功率的比值)可达到 95%, 高功率因数滤波电路会使镇流器的效率下降 3%~5%。同时, 输出回路应有良好的滤波性能, 使灯电流的波峰比在 1.7 以下。达到上述几点, 可以说镇流器与灯管就匹配了。

(上接第 17 页)

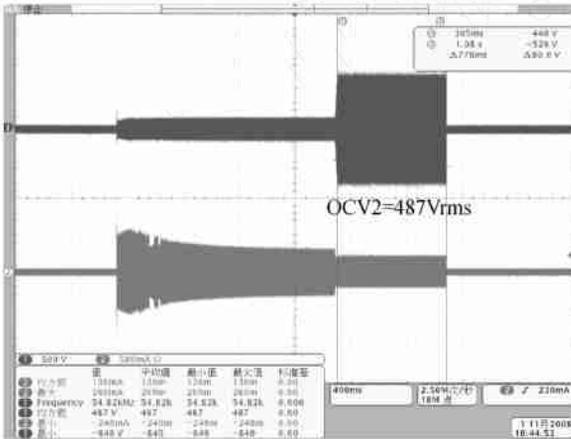


图 12 漏气灯管起动作波形

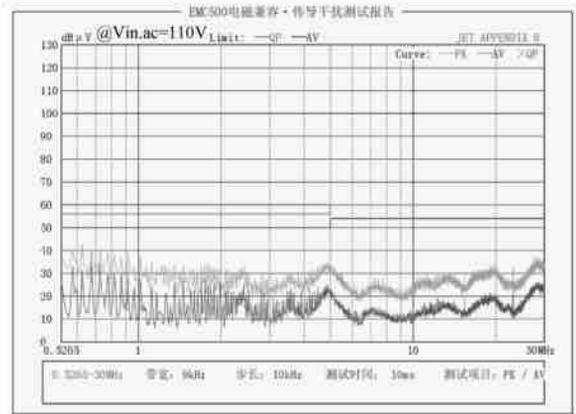


图 14 EMI测试结果(JET Appendix8 standard)

### 7 结论

由于 IRS2168D 集成度高、保护功能丰富, 使得基于 IRS2168D 的双 14W T5 灯管电子镇流器设计简单、可靠性高。镇流器的实测数据证明, 该方案适合于 TL5 单双灯管配套的中高档镇流器。

#### 参考文献

- [1] IRS2168D datasheet and application note, IR company, 2007 - 2.
- [2] 张祥东, 钱锋. 一种 MCU 控制的荧光灯镇流器的设计. 电源技术应用, 2008(11).
- [3] 毛兴武, 祝大卫. 新型电子镇流器电路原理与设计. 人民邮电出版社, 2007 - 9.
- [4] IEC 61347 - 2 - 3. Particular requirements for a. c. supplied electric ballasts for fluorescent lamps. 2004 - 9.

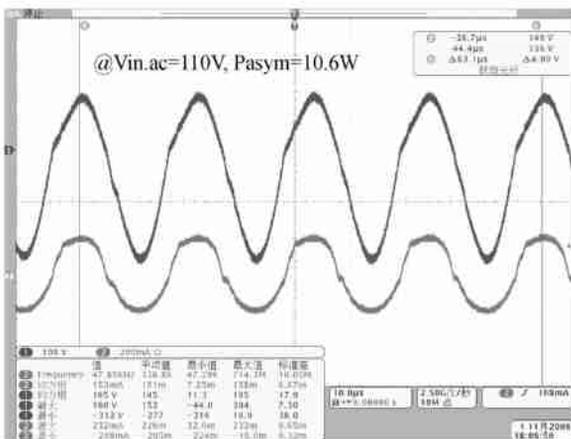


图 13 EOL(整流效应)动作波形