

参考设计

采用 IR2166 的全输入电压范围的直管荧光灯镇流器

特点:

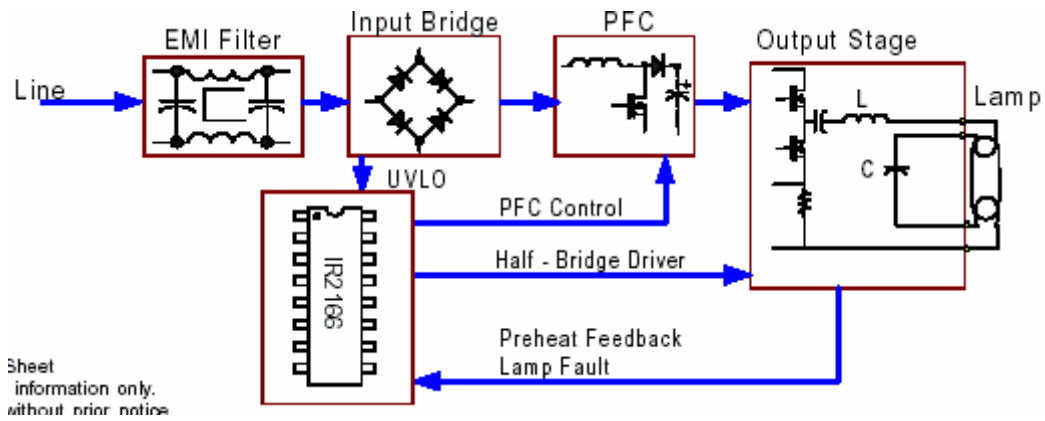
- 驱动一个 TL5 35W 灯
- 输入电压: 90-260VAC
- 高功率因数/低 THD
- 高频工作
- 灯丝预热
- 灯故障保护并自动重新启动
- 低交流电压保护
- 灯寿结束关闭
- IR2166 HVIC 镇流器控制器



介绍

IR2166 演示板是一个高效率、高功率因数，固定输出的电子镇流器，用于驱动快速启动荧光灯。设计中包括有一个 EMI 滤波器、有源功率因数校正和使用 IR2166 的镇流器控制电路。为方便评估，演示板提供 IR2166 镇流器控制 IC，指导 PCB 布局和使用 IR2166 的镇流器产品开发服务。

镇流器原理框图



电特性

参数	单位	值
灯类型	W	35W TL5
输入功率	W	38
灯运行电压	V _{PP}	600
运行模式频率	KHz	44
预热模式频率	KHz	57
预热时间	S	1
灯预热电压	V _{PP}	660
触发电压	V _{PP}	1700
输入交流电压范围	VACrms	90-260VAC
功率因数		0.995 @120VAC (rms) 0.97 @220VAC (rms)
总谐波失真	%	<10% @120VAC (rms) <15% @220VAC (rms)

故障保护特性

故障	镇流器	重启动操作
输入电压低	再激活	增加输入电压
上灯丝烧断	再激活	更换灯
下灯丝烧断	再激活	更换灯
触发失败	再激活	更换灯
开路（无灯）	再激活	更换灯
灯寿结束	再激活	更换灯

功能介绍

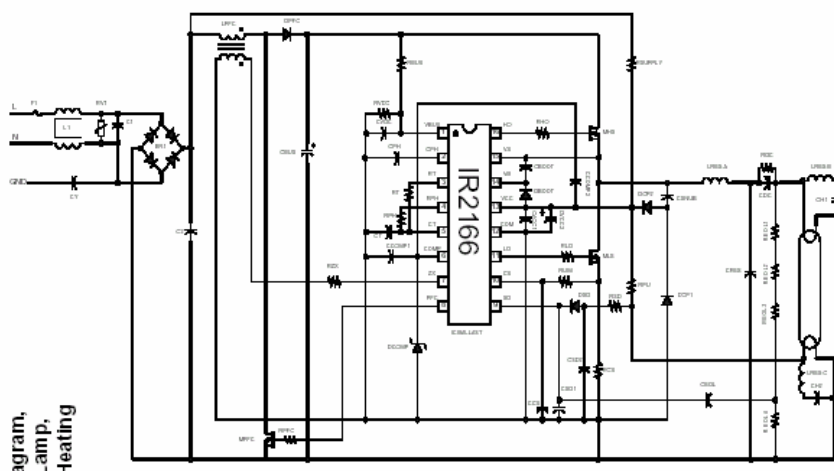
概述

IR2166 演示板包括一个 EMI 滤波器、一个有源功率因数校正、镇流器控制和灯谐振输出级。有源功率因数部分是一个以临界导通模式 (CCM)，自由运行频率方式工作的升压变换器。

镇流器控制部分提供传统 RCL 灯谐振输出电路的频率调制控制，并且很容易适应很宽的灯类型。镇流器部分也提供必要的灯故障检测、关断和自动再启动电路。

原理图

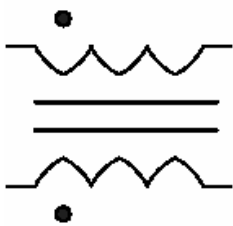
IR2166 单管、电压预热



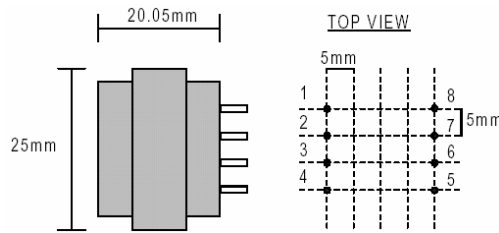
电感: 1 mH
 最大电流: 2 Apk
 最大磁芯温度: 100 °C

绕组	开始管脚	结束管脚	匝数	线径
主绕组	1	6	125	φ0.241 x 4
ZX	3	8	10	φ0.241 x 4

电路



物理尺寸



测试: 频率=50kHz

主绕组电感: 最小 0.9 mH 最大 1.1 mH

主绕组阻抗: 最大 1.5 Ω

注: 在测试频率下, 电感在最大电流和最大温度时不饱和

电感指标

类型: LRES (电压模式)

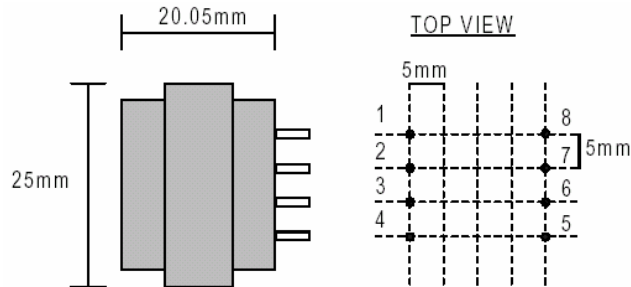
磁芯尺寸: E25/13/7 (EF25) 气隙距离: 1 mm
 骨架: 水平 管脚: 8
 磁芯材料: Philips 3C85, Siemens N27 或类似
 电感: 4 mH
 最大电流: 2 Apk
 最大磁芯温度: 100 °C

绕组	开始管脚	结束管脚	匝数	线径
主绕组	1	8	250	φ0.241 x 4
阴极(1)	6	7	10	φ0.241 x 4
阴极(2)	4	5	10	φ0.241 x 4

电路



物理尺寸



测试: 频率=50kHz

主绕组电感: 最小 3.9 mH 最大 4.1 mH

主绕组阻抗: 最大 2 Ω

注: 在测试频率下, 电感在最大电流和最大温度时不饱和

演示板概况

此演示板为单管 TL5/35W 灯、电压方式预热而设计的 (JV1 和 JV2 连接, JC1 和 JC2 不连接)。由于 TL5 灯具有小的尺寸和较高的流明/瓦输出而越发流行, 这种灯由于需要较高的触发和运行电压而较难控制。典型的使用电流方式预热灯丝的电子镇流器输出级 (灯丝在 L-C 内侧) 将会在运行时使丝灯电流超出。因此输出级应设计成使用谐振电感 LRES 的二次侧绕组的电压方式预热灯丝, 灯被放置在由 LRES 和 CRES 组成的欠阻尼电路回路的外面。预热期间的灯丝加热可以通过电容 CH1 和 CH2 调节, 因此镇流器输出级较灵活, 以满足灯的要求。隔直电容 CDC 也放在欠阻尼谐振电路的外面, 从而它不影响 LRES 和 CRES 的自然谐振频率。吸收电容 CSNUB 是 IR2166 供电的充电泵。

IR2166 镇流器控制 IC 完成镇流器运行点的控制和针对如灯触发失败、低直流电压、热过载或灯失效等非正常工作的保护。同时完成直流电压的调节和功率因数控制, 使镇流器有高的功率因数和低的谐波失真。

功率因数校正部分

IR2166 的功率因数校正部分采用临界导通方式的升压拓扑电路。这种电路用于升压和调节直流输出电压, 产生正弦电流 (低 THD) 并使电流与交流输入电压同相 (高功率因数)。

镇流器控制部分

IR2166 的镇流器控制部分包括有一个振荡器、高压半桥驱动和灯故障保护电路，关于原理框图和状态图，请参考 IR2166 数据表。

启动

当镇流器上电后，IR2166 V_{CC} 脚的电压开始上升，整流后的交流电压通过启动电阻 R_{SUPPLY} 给 V_{CC} 充电。在启动期间，当 V_{CC} 电压低于 IR2166 欠压上门限时，电路处于欠压模式和微功率模式，微功率模式允许使用高阻值、低功率启动电阻 (R_{SUPPLY})；当 V_{CC} 电压达到欠压上门限 (11.5V)，门极驱动振荡器开始工作（假设没有故障发生），并且驱动半桥输出的 MOSFET (MHS 和 MLS) 管；当半桥电路开始工作，由 CSUNB、DCP1 和 DCP2 组成的吸收/充电泵电路可限制半桥输出的上升和下降时间，以及给电容 CVCC2 充电直到 V_{CC} 嵌位电压（大约 15.6V），这时功率因数控制振荡器开始工作，驱动 MOSFET 管 MPFC，实现升压和调节直流电压到 400VDC。

预热

当镇流器结束欠压模式，进入预热模式，这时 IR2166 镇流器控制振荡器开始工作，并通过半桥电路输出驱动谐振负载（灯）电路。启动的最初很短时间内频率远高于稳定的预热频率，这样可保证最初灯两端的电压不超过最小的灯触发电压。如果在半桥振荡的最初灯两端的电压足够高，可看见灯闪烁，这种情况应当避免，实际上这是冷激发，会缩短灯的寿命。

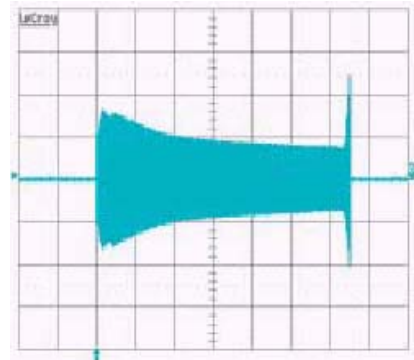


图 1 预热和触发期间的灯丝电流（500mA/格）

IR2166 的镇流器控制部分的振荡器与流行的 PWM 电压调节器类似，由对地相连的定时电容和定时电阻组成。电阻 R_T 和 R_{PH} 决定电容 C_T 的上升时间。 C_T 的下降时间是死区时间（LO、HO 都关断），预热模式的振荡频率由电阻 R_T 和 R_{PH} 的并联确定。应选择使灯两端电压小于最小的灯触发电压，并能提供足够的电流预热灯丝，使其达到合适的发射温度。预热期间，灯丝预热有一个恒定的电压，图 1 给出了预热和触发时的灯丝电流，图 2 为灯丝电压。

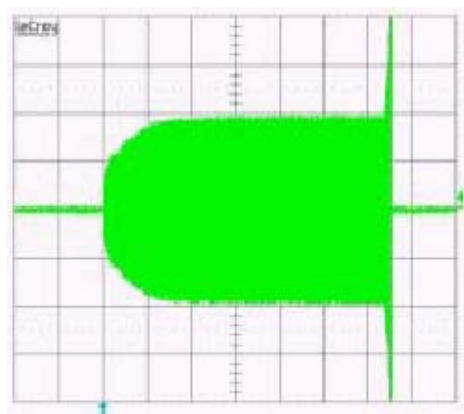


图 2 预热和触发时的灯丝电压

图 3 给出了半桥振荡器在正常工作条件下频率与时间的关系。预热、触发和运行模式。

预热时间以及镇流器的工作模式由 CPH 电压决定。完成欠压模式，进入预热模式，一个内部电流源开始给 CPH 电容充电。在 CPH 电容达到触发模式阈值（10V）之前，保持预热模式。

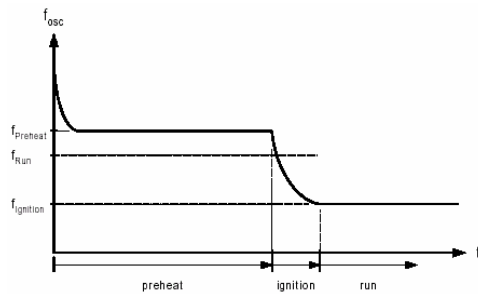


图 3 正常工作条件下，频率与时间的关系

触发模式

预热模式完成后，镇流器进入触发模式，频率向运行频率下降。RPH 不再与电阻 RT 并联，因此运行频率由 RT 确定。在频率下降期间，随着频率接近 LC 负载电路的谐振频率，灯两端电压大幅上升，直至达到触发电压并且灯被触发。能够产生的最大触发电压由 RCS 决定，但是在任何情况下，触发频率都应比运行频率高，图 4 是灯两端的电压变化。

在触发上升期间，CPH 电压继续上升直到超过运行模式阈值（13V），在触发模式开始，过电流保护检测开始工作，过电流保护将在故障模式中详述。

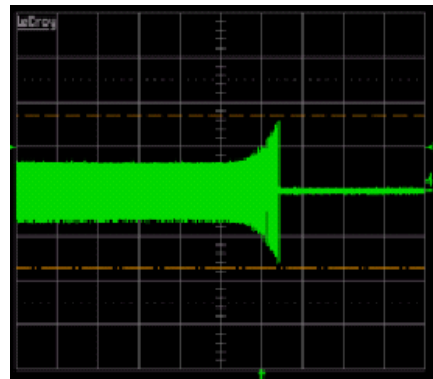


图 4 触发电压变化

运行模式

在运行模式期间，频率变到运行频率，运行频率由 RT 确定，在运行模式开始时，SD 脚内部的有 1-3V 窗口的比较器开始工作。故障模式中详述。

在运行模式时，灯以制造厂推荐的额定功率运行，针对所选元件值，灯谐振输出级的运行频率定义为：

$$f_{RUN} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} - 2\left(\frac{Plamp}{CV^2lamp}\right)^2 + \sqrt{\left[\frac{1}{LC} - 2\left(\frac{Plamp}{CV^2lamp}\right)^2\right]^2 - 4\frac{1 - \left(\frac{2Vdcbus}{Vlamp\pi}\right)^2}{L^2C}}}$$

其中：

L:	灯谐振电路电感 (L3)	(H)
C:	灯谐振电路电容 (C14)	(F)
Plamp:	灯运行功率	(W)
Vlamp:	灯运行电压幅值	(V)

图 5 是灯在启动、预热、触发和运行时的灯电压

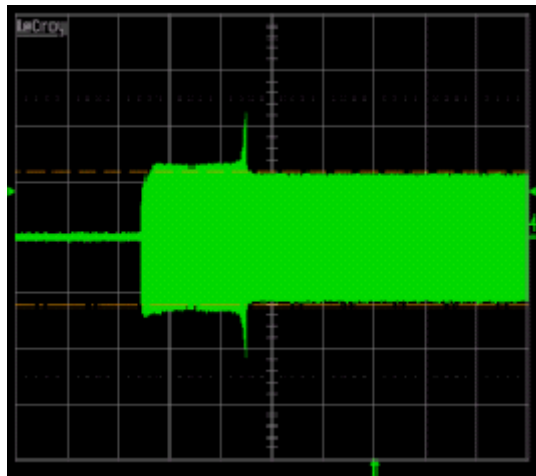


图 5 灯在启动、预热、触发和运行时的灯电压

电源正常关闭

在交流输入电压与镇流器断开连接时，出现正常功率关闭。如果发生这种情况，IR2166 的 VBUS 脚电压下降到电网故障阈值 (3V) 以下，当交流输入电压下降到最小值以下时，可由 DCOMP 和 RVBUS 确定，COMP 脚稳压管值和 R_{SUPPLY} 电阻值被选做使 V_{CC} 放电到功率关闭阈值 (9.5V) 以下，镇流器控制振荡器停振，半桥驱动输出 (LO 和 HO) 关断，IR2166 进入欠压和微功率模式，母线电压消失。

灯管更换和自动重新启动

电阻 RPU、RSD 和电容 CSD1 组成分压/滤波网络，用于检测下端灯丝开路或灯更换。在正常条件下，CSD1 上电压接近于零。如果下端灯丝开路或灯被拿开，SD 脚的电压上升到 5V 阈值以上，给出一个灯被更换的条件信号，也即使镇流器进入欠压模式，在灯被替换之前，镇流器保持欠压模式。如果更换的灯有好的下端灯丝，SD 脚电压下降到阈值以下，镇流器将重新启动。交流输入电压的关闭与再启也可用于所有故障条件下重新启动镇流器，镇流器将经过所有过程：预热、触发和运行。注意，SD 脚在所有工作模式都是激活的。

故障模式

故障模式是由于检测到灯出现故障而使镇流器停止工作。注意，当镇流器进入故障模式，功率因数校正部分也停止工作，直流母线电压下降到不调节水平，有许多灯故障条件可以使镇流器进入故障模式。灯故障条件检测包括硬开关检测、过电流检测（CS 脚）、灯寿结束检测（SD）脚。低端 MOSFET 源极的电阻 RCS 是半桥电路电流检测点，用于检测灯故障条件。工作时，RCS 上的电压无论在下端 MHS 开通或上管 MLS 关断，电压幅值直接反响了灯谐振电路的电流。图 6 为正常工作时 RCS 上的电压，以及低端和高端 MOSFET 的门极驱动信号。

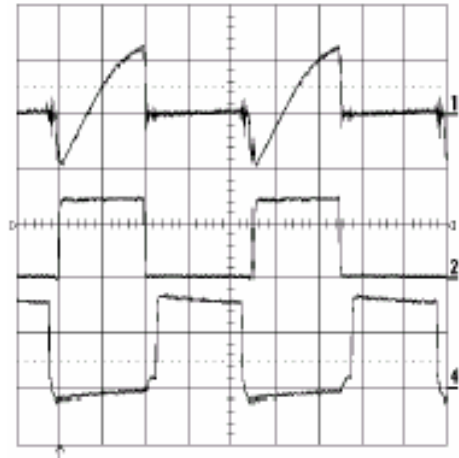


图 6 正常工作条件

上：CS 电压，中：L0 电压，下：H0-VS 电压

在预热模式时，不检测 RCS 上的电压。在预热结束（触发模式开始）开始检测硬开关和过电流。在运行模式期间，在任何时间，如果 RCS 上电压超过过电流阈值（1.3V），出现灯故障条件，半桥输出 MOSFET（MHS 和 MLS）关断，镇流器进入故障模式。在触发期间，灯故障在 10 个周期以后才会出现，以避免在正常触发时电流瞬态变化而误触发。如果灯触发失败或灯破碎（阴极开路或灯破碎），将会出现过电流。

图 7 是当镇流器检测到触发失败并进入故障模式 RCS 上的电压和灯两端电压。

图 8 是预热后期和触发失败时灯两端电压。如果阴极开路，半桥输出发生硬开关，每次下端 MOSFET（MHS）开通都会产生很大的脉冲电流，因此 RCS 上的脉冲电压会触发 IC 进入故障模式。

图 9 是硬开关工作情况。图 10 是检测到故障，预热模式时灯电压和触发模式开始，镇流器保持故障状态，直到电源重新复位或更换好的灯管。

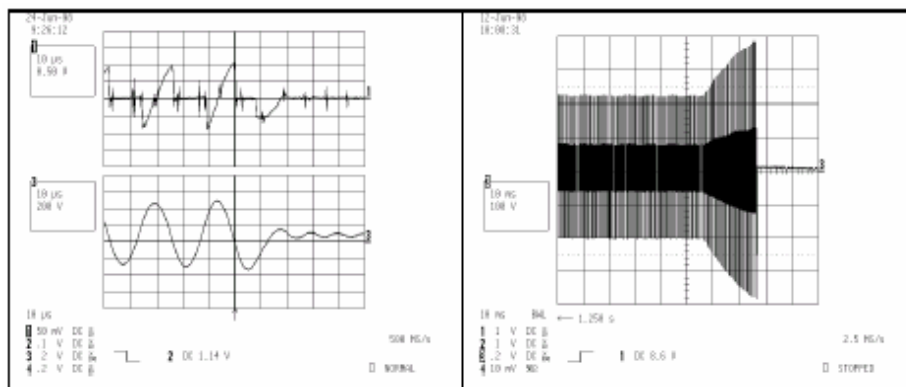


图 7 触发失败（灯丝正常）

图 8 触发失败（灯丝正常）灯电压

上：RCS 电压 下：灯电压

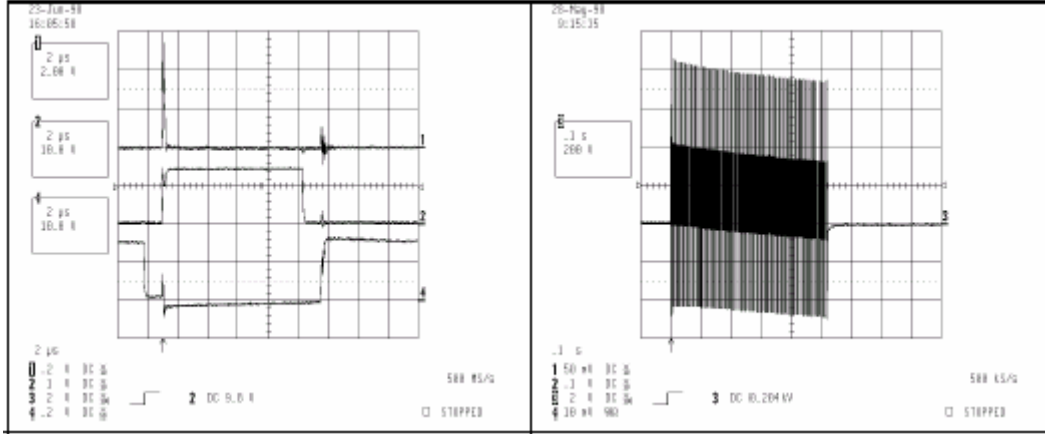


图 9 硬开关（上端灯丝开路）
上：RCS 电压
中：LO 电压
下：HO-VS 电压

图 10 硬开关（上端灯丝开路）
故障时预热和触发期间灯电压

元件 REOL1、REOL2、REOL3、REOL4、CEOL 组成灯寿检测电路，在运行模式开始，灯寿比较器窗口开始工作。一旦灯寿命结束，IR2166 的 SD 脚电压将超出内部比较器窗口 1-3V，使镇流器进入故障模式。

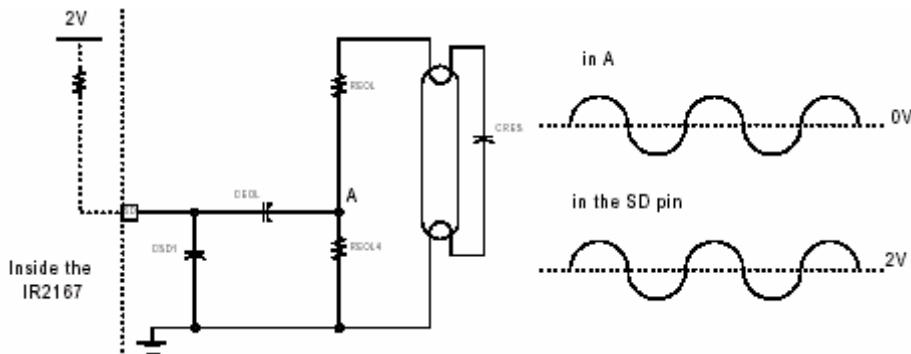


图 11 灯寿检测电路

REOL4 值可以改变，在正常运行时 A 点的电压为 $1.5V_{PPK}$ ，CEOL 从 A 点连接到 SD 脚，对于 T5/35W 灯，REOL4 为 $1.2K\Omega$ 。SD 脚内部有一个阻抗 $1M\Omega$ 2V 的偏置通过 $100nF$ 电容 (CEOL) 耦合到 SD 脚，信号从 1.25V 到 2.75 变化。

在灯寿命结束时，灯电压可能对称地上升（交流灯寿两个阴极都变坏）或非对称（直流灯寿只有一个阴极变坏），这个电路的优点是能检测到两种情况。

SD 脚的峰峰电压在两种情况均会增加（有 2V 直流偏置），或者正峰值超过 3V/或负峰值小于 1V，从而使窗口比较器关闭。灯寿阈值可以通过 REOL4 调节（通常为 30%V_{lamp}）。图 12 为 SD 脚电压和四种情况下的灯电压：正常、直流灯寿（上阴极变坏和下阴极变坏）和交流灯寿。

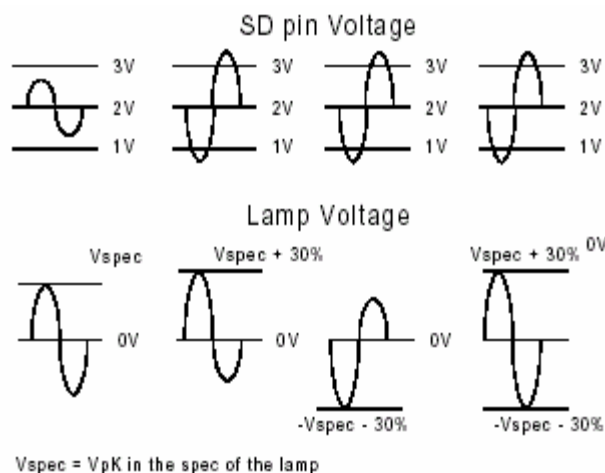


图 12 SD 脚电压和四种情况下的灯电压：
正常、直流灯寿（上阴极变坏和下阴极变坏）和交流灯寿。

电流预热模式电路设置

同样的 PCB 板可以设置成电流模式，需将 JV1 和 JV2 去掉，增加 JC1 和 JC2，另外也需要在 CDC 上并联电阻 RDC，因为在冷态启动一段时间后会出可见的黑色环，RDC 值为 100K Ω 、0.5W。

建议使用“镇流器设计软件”确定元件参数。

驱动不同类型灯的设计步骤

为了适应不同类型的灯，你需要调整以下元件参数值：LPFC、MPFC、MLO、MHO、CPH、RT、RPH、RCS、CT、REOL4、CRES 和 LRES，其它元件参数不变。

1. 使用“镇流器设计者软件”选择参数：LRES、CRES、LPFC、MPFC、MLO 和 MHO、CT，以及 CPH、RT、RPH、RCS 和 LPFC。
2. 确定 RCS 以得到正确的最大触发电压（减小 RCS 提高触发电压）交叉两个灯管（如在每个灯阴极位置连接一个灯丝或电阻，但灯不是好的）。使用存储示波器测量触发时的灯电压。

3. 正确连接灯并测量输入功率（增加 RT，降低频率可提高灯功率）。
4. 选择 RPH，确定正确的预热频率（增加 RPH，降低预热频率，可提高预热电流）。在电压预热模式，增加 CH1 和 CH2 可增加预热电压（LRES 二次侧有 6-7 圈）。
5. 选择 CPH，确定预热时间（增加 CPH 可增加预热时间）。
6. 在电源和负载极限条件下确认 LPFC 值。
 最大输入电压：如果 COMP 脚电压小于 400mV，PFC 将不能稳定工作，需要提高 LPFC 值。
 最小输入电压：如果 PFC 不能稳定工作，可听到 LPFC 的噪声，需减小 LPFC 值。
7. 选择 REOL4 确定灯寿检测灯电压百分比，如设置保护阈值为灯电压的 30%。
 选择 REOL4 使 SD 脚正常工作时在 2-0.7V 和 2+0.7V 之间变化，灯电压增加 30%时，超出窗口比较器极限（小于 1V 或大于 3V）。

电流预热电路

