

## IR2166 数据表

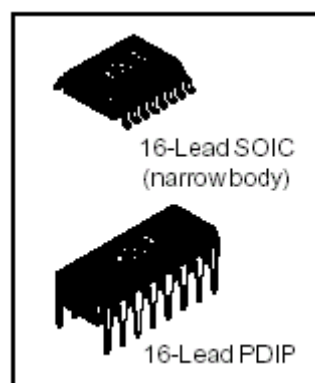
### 功率因数校正和镇流器控制 IC

#### 特点:

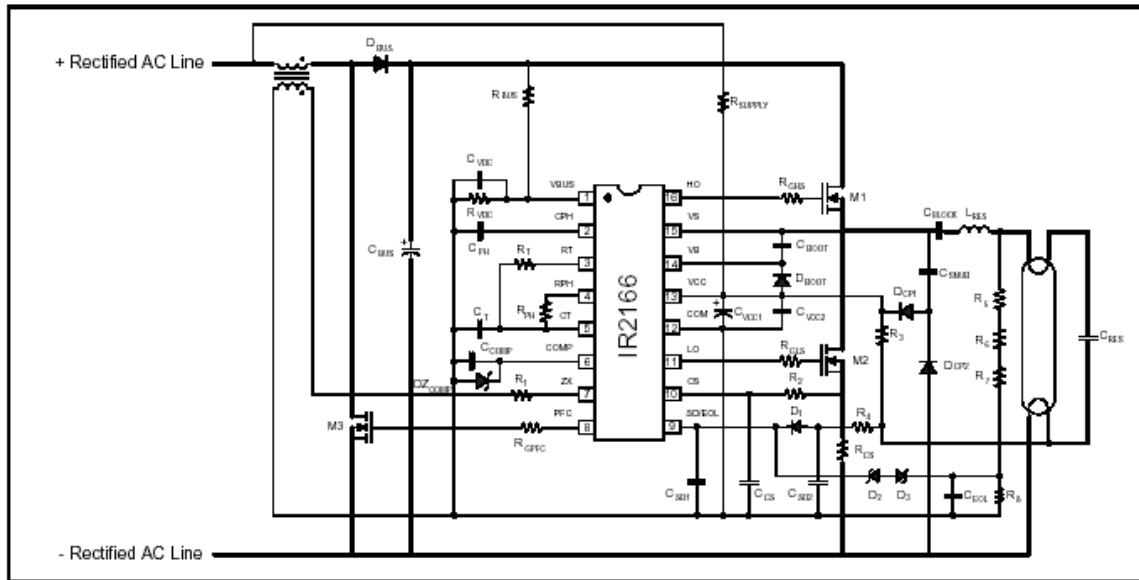
- PFC, 镇流器和半桥驱动合一
- 临界导通模式升压型 PFC
- 无 PFC 电流检测电阻
- 预热频率可调
- 预热时间可调
- 运行频率可调
- 过电流保护可调
- 灯寿命保护可调
- 可控死区时间
- 内部触发斜率
- 内部故障计数器
- 直流母线欠压复位
- 关断滞环功能
- 内部 Vcc 有 15.6V 嵌位二极管
- 微功率启动(150uA)
- 锁定和 ESD 保护

#### 简介:

IR2166 是完全集成的, 完全保护的, 可驱动所有类型荧光灯的 600V 电子镇流器控制芯片。PFC 电路以临界导通模式(CCM)方式工作, 可获得高功率因素, 低 THD 及直流电压调整。IR2166 的特性包括预热频率和运行频率可调, 预热时间可调, 死区时间可调, 过流门限电压可调, 以及灯寿命保护。该 IC 还有其他完善的保护性能诸如灯管触发失败保护, 灯丝故障保护, 灯寿命保护。直流母线欠压复位以及自动重新启动功能。IR2166 有 DIP14 及 SOIC14 两种封装。



IR2166 典型应用图



绝对最大值:

管脚超过给定的最大值就有可能损坏器件，所有绝对值电压参考管脚为COM，所有正电流定义为流入管脚。热阻和功耗额定值在大气环境下和板上测得。

符号	定义	最小值	最大值	单位
V <sub>B</sub>	高端浮动供电电压	-0.3	625	V
V <sub>S</sub>	高端浮动供电偏置电压	V <sub>B</sub> -25	V <sub>B</sub> +0.3	V
V <sub>HO</sub>	高端浮动输出电压	V <sub>S</sub> -0.3	V <sub>B</sub> +0.3	V
V <sub>LO</sub>	低端输出电压	-0.3	V <sub>CC</sub> +0.3	V
V <sub>PFC</sub>	PFC 栅极驱动输出电压	-0.3	V <sub>CC</sub> +0.3	V
I <sub>OMAX</sub>	允许最大输出电流(HO,LO,PFC)由外部功率晶体管 miller 效应得到	-500	500	mA
V <sub>BUS</sub>	V <sub>BUS</sub> 管脚电压	-0.3	V <sub>CC</sub> +0.3	V
V <sub>CT</sub>	CT 管脚电压	-0.3	V <sub>CC</sub> +0.3	V
I <sub>CPH</sub>	CPH 管脚电流	-5	5	mA
I <sub>RPH</sub>	RPH 管脚电流	-5	5	mA
V <sub>RPH</sub>	RPH 管脚电压	-0.3	V <sub>CC</sub> +0.3	V
I <sub>RT</sub>	RT 管脚电流	-5	5	mA
V <sub>RT</sub>	RT 管脚电压	-0.3	V <sub>CC</sub> +0.3	V
V <sub>CS</sub>	电流感应管脚电压	-0.3	5.5	V
I <sub>CS</sub>	电流感应管脚电流	-5	5	mA

I <sub>SD</sub> /EOL	关断管脚电流	-5	5	mA	
I <sub>CC</sub>	供电电流（注：1）	-20	20	mA	
I <sub>ZX</sub>	PFC 电感电流，过零检测输入电流	-5	5	mA	
I <sub>COMP</sub>	PFC 误差补偿电流	-5	5	mA	
dV/dt	允许偏置电压波动率	-50	50	V/ns	
P <sub>D</sub>	封装功 @T <sub>A</sub> ≤ +25°C	----(16 PDIP)	——	1.80	W
	P <sub>D</sub> =(T <sub>JMAX</sub> -T <sub>A</sub> )/R <sub>thJA</sub>	----(16 SOIC)	——	1.40	
R <sub>thJA</sub>	结到环境热阻	----(16PDIP)	——	70	°C/W
		----(16SOIC)	——	86	
T <sub>J</sub>	结温	-55	150	°C	
T <sub>S</sub>	存储温度	-55	150	°C	
T <sub>L</sub>	管脚温度（装焊 10 秒）	——	300	°C	

注 1: 该芯片内部 V<sub>CC</sub> 与 COM 之间设有 15.6V 稳压管，注意该脚不能直接外加电压源。

### 推荐工作条件:

为使器件正常工作，请使用推荐的工作条件。

符号	定义	最小值	最大值	单位
V <sub>BS</sub>	高端浮动供电电压	V <sub>CC</sub> -0.7	V <sub>CLAMP</sub>	V
V <sub>S</sub>	稳态高端浮动供电偏置电压	-1	600	V
V <sub>CC</sub>	供电电压	V <sub>CCUV+</sub>	V <sub>CLAMP</sub>	V
I <sub>CC</sub>	供电电流	注 2	10	mA
C <sub>T</sub>	CT 连接电容	220	——	pF
I <sub>SD</sub> /EOL	关断管脚电流	-1	1	mA
I <sub>CS</sub>	电流检测管脚电流	-1	1	mA
I <sub>ZX</sub>	过零检测管脚电流	-1	1	mA
T <sub>J</sub>	结温	-25	125	°C

注 2: V<sub>CC</sub> 管脚应供给足够的电流，确保内部稳压管正常工作。

**电气特性:**

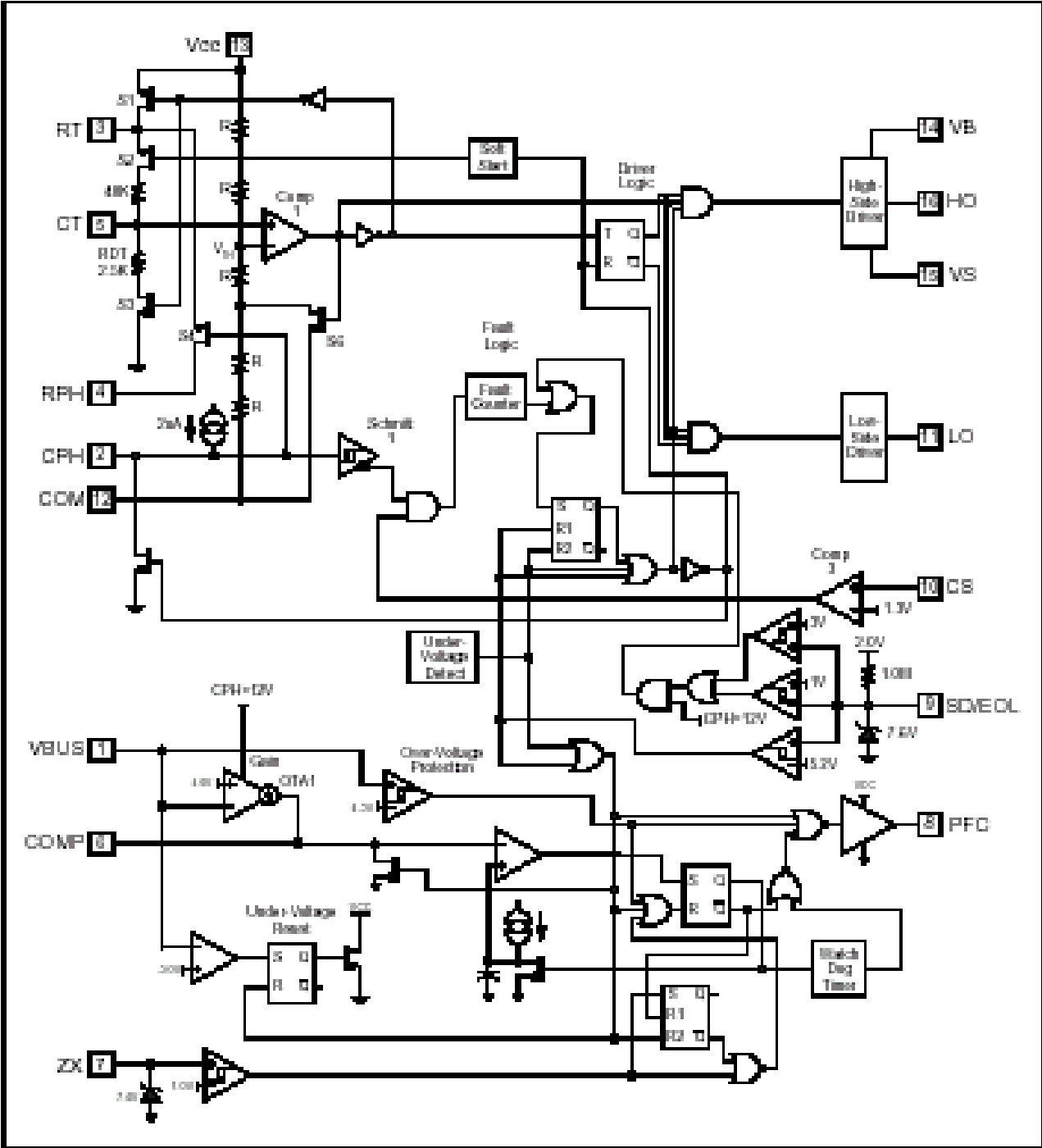
$V_{CC}=V_{BS}=V_{BIAS}=14V\pm 0.25V$  ,  $V_{BUS}$  = 开路 ,  $R_T=39.0k\Omega$  ,  $R_{PH}=100k\Omega$  ,  $C_T=470pF$  ,  
 $V_{CPH}=0.0V$  ,  $V_{CS}=0.0V$  ,  $V_{SD}=0.0V$  ,  $V_{COMP}=0.0V$  ,  $C_{LO}=C_{HO}=1000pF$  ,  $T_A=25^\circ C$  .

符号	定义	最小	典型	最大	单位	测试条件
<b>供电特性</b>						
$V_{CCUV+}$	$V_{CC}$ 正欠压门限	10.5	11.5	12.5		$V_{CC}$ 从 0 建立
$V_{CCUV-}$	$V_{CC}$ 负欠压门限	8.5	9.5	10.5		$V_{CC}$ 从 14V 下降
$V_{UVHYS}$	$V_{CC}$ 欠压锁定滞环	1.5	2.0	3.0		
$I_{QCCUV}$	UVLO 模式静态电流		385		$\mu A$	$V_{CC}=11.5V$
$I_{QCC}$	静态 $V_{CC}$ 供电电流		2.0		mA	CT 连 COM, $V_{CC}=14V$ , $R_T=15 K\Omega$
$V_{CLAMP}$	$V_{CC}$ 稳压管电压	14.5	15.6	16.5	V	$I_{CC}=10mA$
<b>浮动供电特性</b>						
$I_{QBS0}$	$V_{BS}$ 静态供电电流	-1	0	5	$\mu A$	$V_{HO}=V_S(C_T=0V)$
$I_{QBS1}$	$V_{BS}$ 静态供电电流	—	28	—	$\mu A$	$V_{HO}=V_B(C_T=14V)$
$V_{BSMIN}$	建立 HO 特性最小 VBS 电压	—	2.5		V	
$I_{LK}$	偏置供电漏电流	—	—	50	$\mu A$	$V_B=V_S=600V$
<b>PFC 误差放大器特性</b>						
$I_{COMP源}$	误差放大器输出拉电流	—	30	-	$\mu A$	$V_{CPH}=14V$ $V_{BUS}=3.5V$
$I_{COMP灌}$	误差放大器输出灌电流		30		$\mu A$	$V_{CPH}=14V$ $V_{BUS}=4.5V$
$V_{COMPOL}$	误差放大器输出电压 摆动		0.5		V	
<b>PFC 直流电压调整</b>						
$V_{BUSOV}$	过电压比较器阈值	—	4.3	-	V	
$V_{BUSOV}$ $HYS$	过电压比较器滞环		300		mV	
$V_{VBUS}$ $REG$	过电压比较器内部 参考电压		4.0		V	

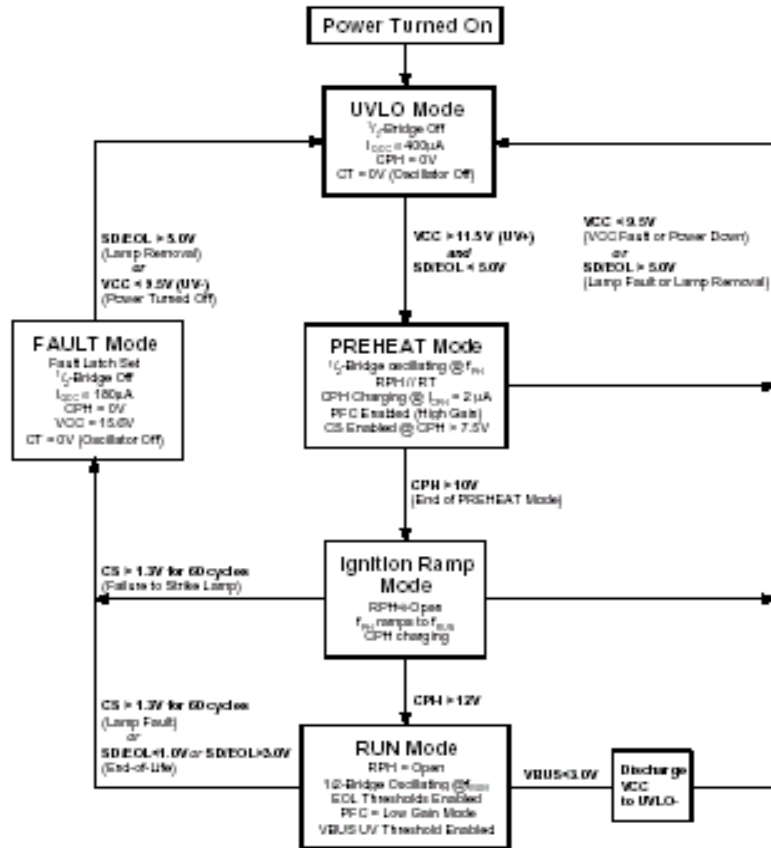
PFC 零电流检测						
$V_{ZX}$	ZX 脚比较器阈值电压		2.0		V	
$V_{ZXhys}$	ZX 脚比较器滞环		300		mV	
$V_{ZXclamp}$	ZX 脚嵌位电压		7.5		V	$I_{ZX}=2mA$
PFC 看门狗						
$T_{WD}$	看门狗内部脉冲		400		$\mu S$	$Z_X=0V,$ $V_{COMP}\geq 0.5V$
镇流器振荡器特性						
符号	定义	最小	典型	最大	单位	测试条件
$f_{osc}$	振荡频率	—	25	—	KHz	$R_T=33K\Omega$
		—	100	—		$R_T=7.5K\Omega$
$d$	振荡占空比	—	50	—	%	
$V_{CT+}$	$C_T$ 电压门限上沿	—	8.4	—	V	$V_{CC}=14V$
$V_{CT-}$	$C_T$ 电压门限下沿	—	4.6	—	V	
$V_{CTFLT}$	故障模式 $C_T$ 电压	—	0	—	mV	$SD>5.0V, CS>1.3V$
$t_{DLO}$	LO 输出死区时间	—	2	—	$\mu s$	$CT=1nF$
$t_{DHO}$	HO 输出死区时间	—	2	—	$\mu s$	
$R_{DT}$	内部死区时间电阻	—	3	—	$K\Omega$	
镇流器控制预热特性						
$I_{CPH}$	CPH 脚充电电流	—	2.0	—	$\mu A$	$V_{CPH}=5V, CT=10V,$ $V_{DC}=5V$
$V_{CPHFLT}$	故障模式 CPH 电压	—	0	—	mV	$SD>5.1V, CS>1.3V$
RPH 特性						
$I_{RPHLK}$	RPH 开路漏电流	—	0.1	—	$\mu A$	$CT=10V$
$V_{RPHFLT}$	故障模式 RPH 电压	—	0	—	mV	$SD>5.1V, CS>1.3V$
RT 特性						
$I_{RTLK}$	RT 开路漏电流	—	0.1	—	$\mu A$	$CT=10V$
$V_{RTFLT}$	故障模式 RT 电压	—	0	—	mV	$SD>5.1V, CS>1.3V$

保护电路特性						
V <sub>SDTH+</sub>	关断门限上限电压	——	5.2	——	V	
V <sub>SDHYS</sub>	关断门限滞环电压	——	200	——	mV	
V <sub>SDEOL+</sub>	灯寿门限上限电压		3.0		V	V <sub>CPH</sub> >12V
V <sub>SDEOL-</sub>	灯寿门限下限电压		1.0		V	
V <sub>CSTH+</sub>	过流感应门限电压	——	1.3	——	V	V <sub>CPH</sub> >7.5V
#FAULT-CYCLES	IC 关闭前的故障过电流数	——	60	——	个	V <sub>CPH</sub> >7.5V CS>1.3V
V <sub>BUSSUV-</sub>	直流母线电压欠压阈值		3.0		V	
V <sub>CPH CSEN</sub>	CPH 脚电流感应使能阈值		6.8		V	
V <sub>CPH EOLEN</sub>	CPH 脚灯寿使能阈值		12		V	
门极驱动输出特性(HO,LO,PFC 脚)						
符号	定义	最小	典型	最大	单位	测试条件
V <sub>OL</sub>	低输出电压	——	0	100	mV	I <sub>O</sub> =0
V <sub>OH</sub>	高输出电压	——	0	100	mV	V <sub>BIAS</sub> -V <sub>O</sub> , I <sub>O</sub> =0
tr	开通上升时间	——	110	150	ns	C <sub>HO</sub> =C <sub>LO</sub> =C <sub>PFC</sub> =1nF
tf	关断时间	——	55	100	ns	C <sub>HO</sub> =C <sub>LO</sub> =C <sub>PFC</sub> =1nF
I <sub>O+</sub>	HO,LO,PFC 拉电流		300		mA	
I <sub>O-</sub>	HO,LO,PFC 灌电流		400		mA	

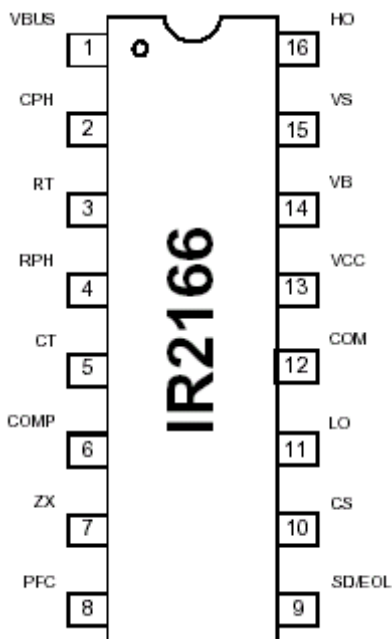
IR2166 内部框图



IR2166 状态框图



IR2156 管脚排列

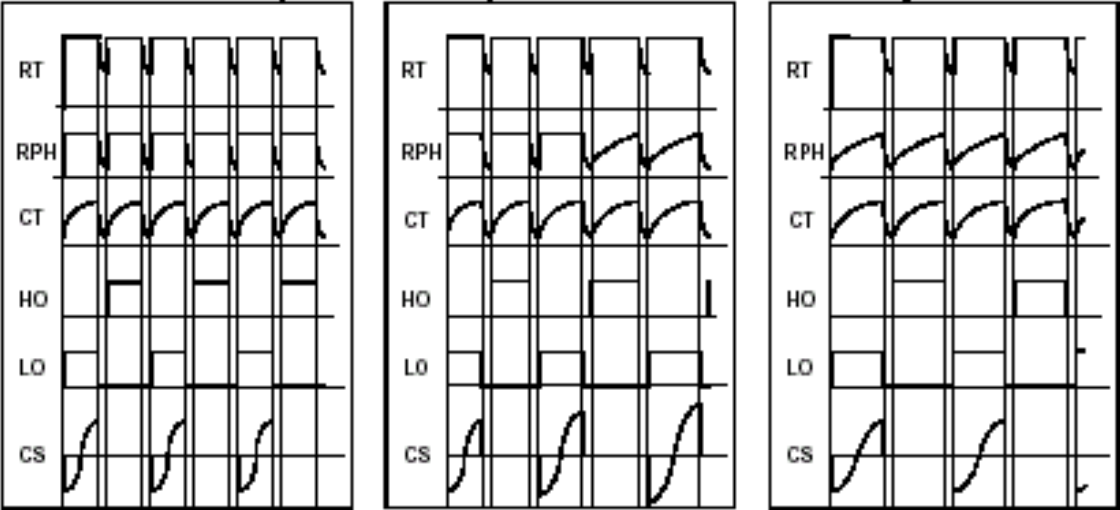
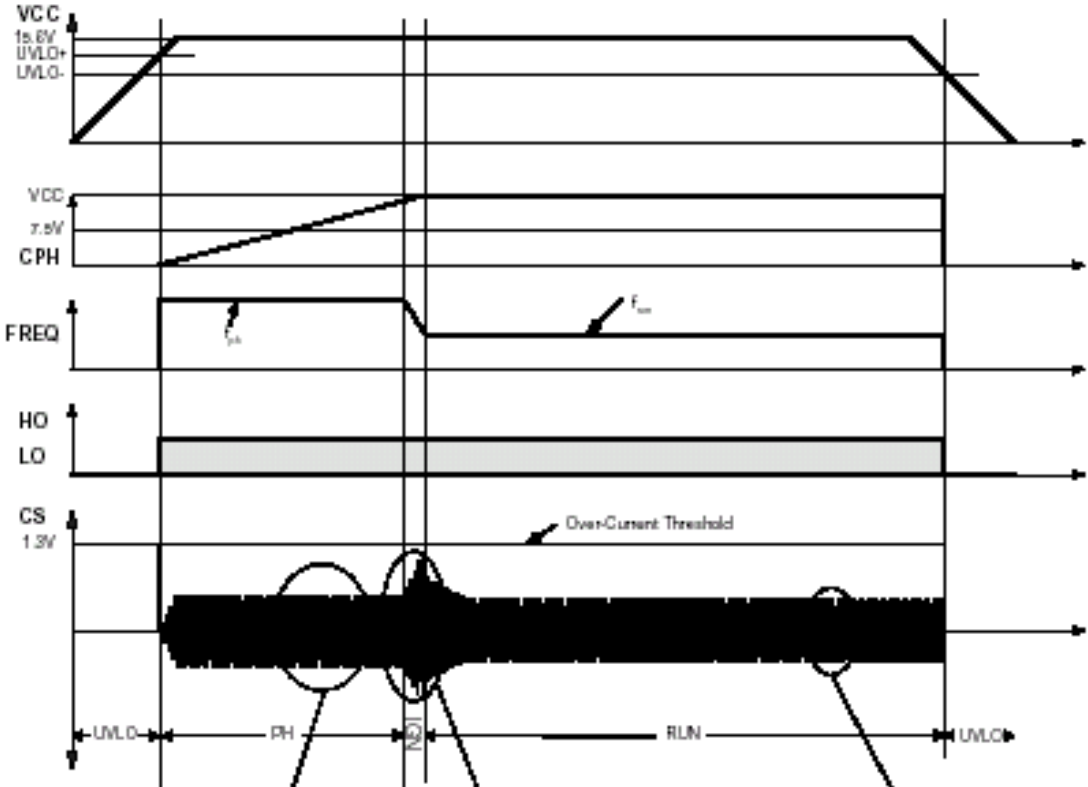


管脚号	符号	功能
1	VBUS	直流电压检测输入
2	CPH	预热定时电容
3	RT	最小频率定时电阻
4	RPH	预热频率定时电阻
5	CT	振荡器定时电容
6	COMP	PFC 误差放大器补偿
7	ZX	PFC 电流过零检测
8	PFC	PFC 管门极驱动输出
9	SD/EOL	关断/灯寿检测电路
10	CS	电流检测输入
11	LO	低端门极驱动输出
12	COM	IC 电源及信号地线
13	VCC	逻辑及低端门极驱动供电
14	VB	高端门极驱动浮动供电
15	VS	高端浮地
16	HO	高端门极驱动输出

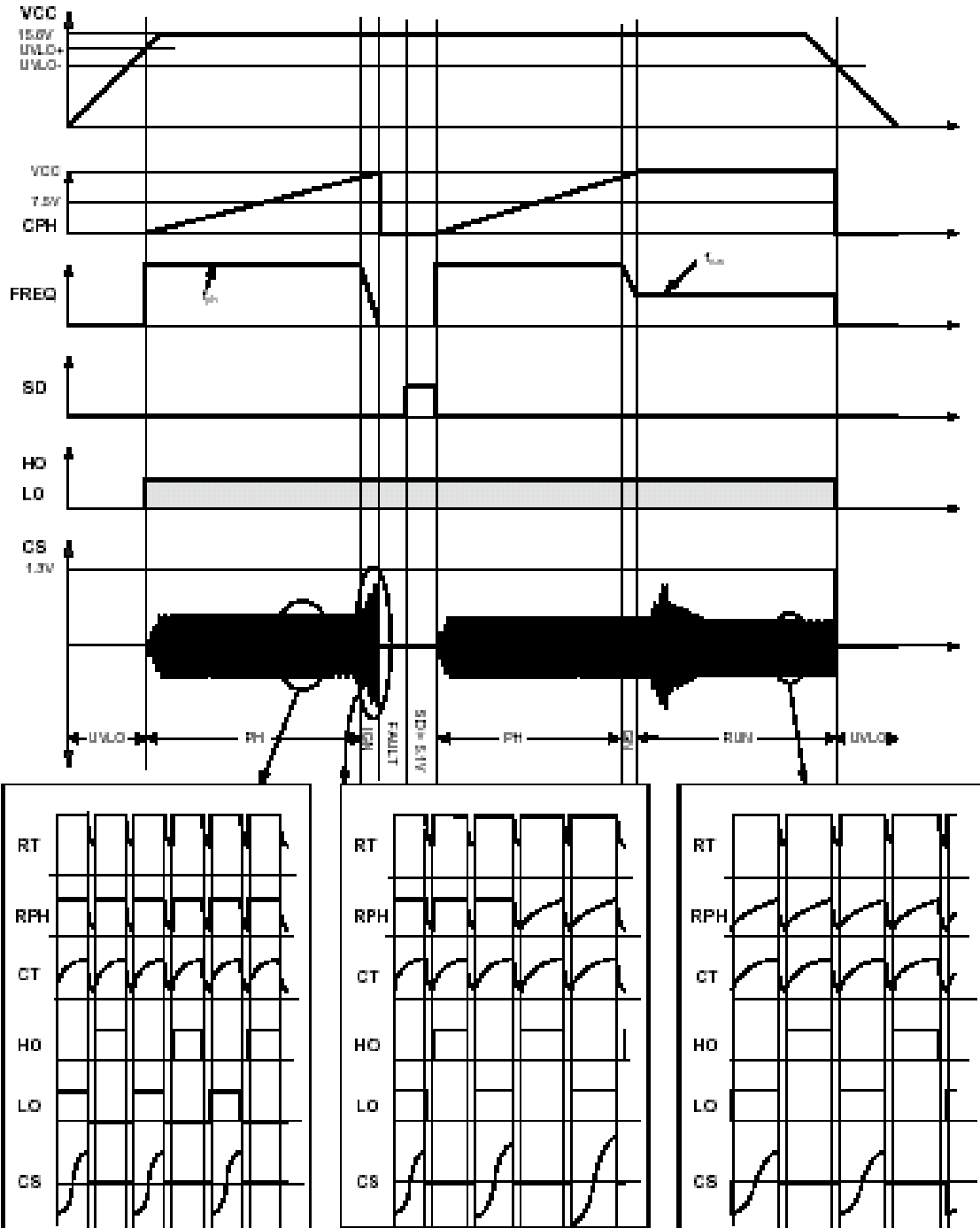


镇流器时序图

正常工作情况



故障工作情况



## I. 功能简介

### 镇流器部分

#### 欠压关断模式 (UVLO)

欠压关断模式是当供电电压  $V_{CC}$  低于 IC 的开启门限电压时的工作情况。关于 IC 的不同模式可参考本文的状态表。IR2166 的欠压关断模式用于使供电电流保持在最小供电电流  $400\mu A$  以下，在高低端有输出前，保证 IC 正常工作。图 1 为一个有效的利用启动电流和镇流器输出级充电泵共同为 IR2166 供电的例子 ( $R_{SUPPLY}$ ,  $C_{VCC}$ ,  $D_{CP1}$ ,  $D_{CP2}$ )。

通过供电电阻 ( $R_{SUPPLY}$ ) 的电流一部分作为启动电流流入 IC，其余给启动电容 ( $C_{VCC}$ ) 充电。此电阻可决定启动镇流器的交流输入电压阈值，一旦  $V_{CC}$  脚电容电压达到启动门限，且  $SD$  脚电压低于  $4.5V$ ，则 IC 开始工作， $HO$ ,  $LO$  开始震荡。由于 IC 工作电流增大，电容开始放电 (图 2)。

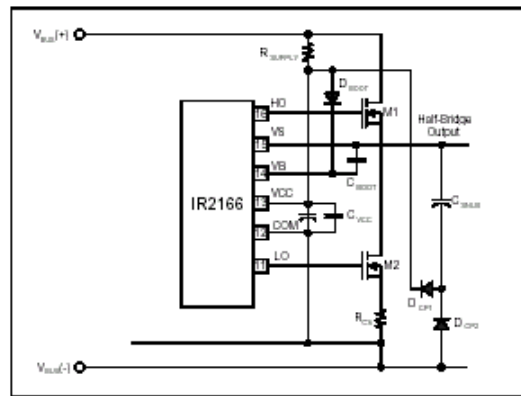


图 1: 启动和供电电路

在放电期间，充电泵产生的整流电流给电容充电，使  $V_{CC}$  电压高于 IC 关断门限，充电泵和 IC 内置  $15.6V$  稳压管来提供供电电压。启动电容和缓冲电容要有足够的容量，能提供足够的电流满足镇流器所有工作条件的需要。自举二极管 ( $D_{BOOT}$ ) 和供电电容 ( $C_{BOOT}$ ) 提供高端驱动电路的工作电压。为了在  $HO$  脚的第一个脉冲前就给高端供电，因此输出驱动的脉冲来自  $LO$  脚。在欠压关断状态，高端和低端输出驱动  $HO$  和  $LO$  都为低电平， $CT$  脚在内部连接到  $COM$  使镇流器停止震荡， $CPH$  脚在内部连接到  $COM$  使预热时间复位。

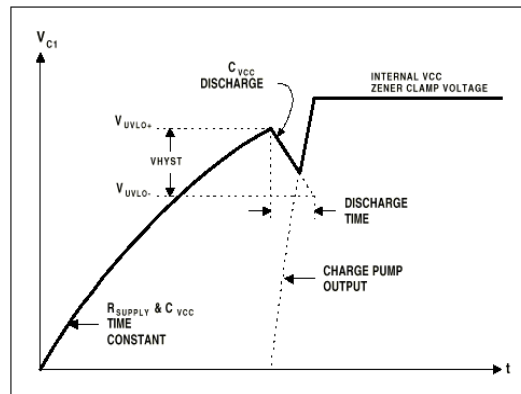


图 2:  $C_{VCC}$  电压

#### 预热模式 (PH)

预热模式定义为灯管灯丝被加热到正确的发射温度，它是延长灯管寿命和降低触发电压所必需的步骤。当  $V_{CC}$  超过  $UVLO+$  门限时 IR2166 进入预热模式。 $LO$  和  $HO$  开始以  $50\%$  占空比的预热频率震荡，死区时间由外部定时电容  $CT$  和内部死区时间电阻  $R_{DT}$  决定。 $CPH$  脚与  $COM$  断开，内部  $1\mu A$  电流源给  $CPH$  脚外接的预热定时电容线性充电。 $CS$  脚的过流保护在预热期间被屏蔽掉。

预热频率由并联电阻  $R_T$  和  $R_{PH}$ ，以及定时电容  $C_T$  决定。 $C_T$  分别在到达  $1/3$  和  $3/5$  的  $V_{CC}$  电压时充电和放电（见时序图）。 $V_{CC}$  通过内部 MOSFET  $S_1$  及并联电阻  $R_T$  和  $R_{PH}$  对  $C_T$  指数充电。 $C_T$  从  $1/3$  到  $3/5$   $V_{CC}$  的充电时间对应的  $HO$  和  $LO$  的开通时间。

当  $C_T$  电压超过  $3/5$  的  $V_{CC}$ ，MOS 管  $S_1$  关断，电阻  $R_T$  和  $R_{PH}$  与  $V_{CC}$  断开。 $C_T$  通过内部电阻  $R_{DT}$ ，MOS 管  $S_3$  对  $COM$  以指数放电。 $C_T$  从  $3/5$  到  $1/3$   $V_{CC}$  的放电时间为即输出门极驱动  $LO$  和  $HO$  都关断，死区时间。选择  $C_T$  和  $R_{DT}$  可确定死区时间。一旦  $C_T$  放电至低于  $1/3$  的  $V_{CC}$ ，MOS 管  $S_3$  关断， $R_{DT}$  与  $COM$  断开，MOS 管  $S_1$  导通， $R_T$  和  $R_{PH}$  再次连接到  $V_{CC}$ 。工作频率始终保持在预热频率直到  $CPH$  脚电压超过  $10V$ ， $IC$  进入触发模式。在预热模式期间，当  $CPH$  脚电压高于  $7.5V$  时，过流保护和  $DC$  总线欠压复位功能生效。

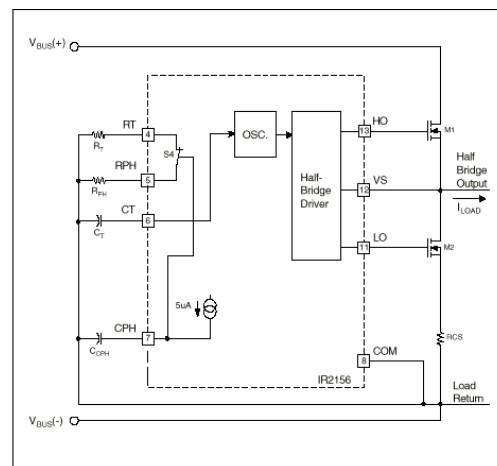


图 3：预热电路

### 触发模式 (IGN)

触发模式定义为建立触发灯管所需的高电压并触发灯管的状态。当管脚  $CPH$  上的电压超过  $10V$ ， $IR2166$  进入触发模式。

管脚  $CPH$  内部连接到一个 P 沟道的 MOSFET ( $S_4$ ) 的门极， $S_4$  连接管脚  $RPH$  和  $RT$ 。当管脚  $CPH$  上的电压超过  $10V$  时， $S_4$  的  $G-S$  电压开始低于  $S_4$  的开通门限。管脚  $CPH$  上的电压持续到  $V_{CC}$ ， $S_4$  缓慢关断，这样就使电阻  $R_{PH}$  平滑的从  $RT$  上断开，因此使工作频率平滑从预热频率向触发频率过度，再过度到最终的运行频率。管脚  $CS$  的过流保护功能可以在触发失败或灯丝开路时保护镇流器。管脚  $CS$  的电压由外部电流检测电阻  $R_{CS}$  上的电压确定。因此  $R_{CS}$  决定了镇流器可提供的最大峰值电流（以及触发电压）。峰值触发电流必须不能超过 MOSFETs 所能承受的最大电流。当  $CS$  上的电压超过内部的  $1.3V$  门限，内部故障计数器开始记录过电流，如果过电流次数超过  $60$  次， $IC$  进入故障模式，输出驱动  $HO$ ， $LO$  和  $PFC$  都被锁定为低电平。

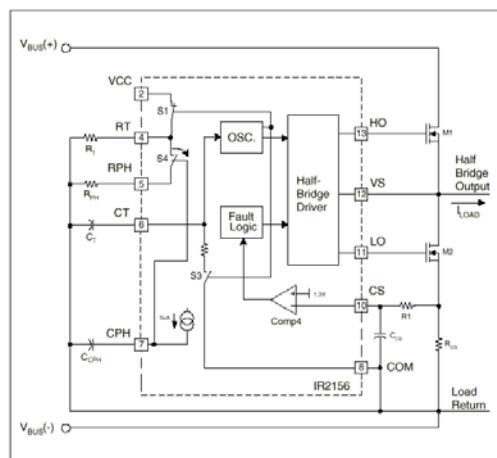


图 4：触发电路

## 运行模式 (RUN)

当灯管成功触发后，镇流器进入运行模式。运行模式定义为灯弧已经建立，灯管以额定功率工作时 IC 所处的状态。运行模式的振荡频率由定时电阻  $R_T$  和定时电容  $C_T$  决定的（见公式 3、4）。在任何时间由于灯丝开路或更换灯管而造成半桥发生硬开关现象，电流检测电阻  $R_{CS}$  上的电压将超过内部 1.3V 门限，故障计数器将记数，如果故障次数超过 60 次，IC 将进入故障模式，输出驱动 HO, LO 和 PFC 都被锁定为低电平。

## DC 总线欠压复位

当 DC 总线电压过低时，灯管的输出级频率会接近或低于谐振频率，这样会造成半桥电路硬开关，并破坏半桥电路的开关管，或者直流电压下跌太多而使灯熄灭。为了防止这种现象的发生，管脚  $VBUS$  有一个 3.0V 的欠压门限。如果  $VBUS$  电压低于 3.0V， $VCC$  将放电到  $UVLO-$  门限以下，所有驱动输出将被锁定为低电平。

为了合理的设计镇流器，PFC 部分应使直流电压在交流输入电压下降到镇流器额定输入电压以下时才下降。如果设计正确， $VBUS$  电压低于内部 3.0V 门限，镇流器立即关断。当交流输入电压回升到最小额定值，使  $VCC$  超过  $UVLO+$ ，启动电阻将使镇流器再次开通。

$R_{SUPPLY}$  应该选择的在最小额定输入电压时能够开通镇流器。因此，PFC 应该设计的当交流输入电压低于最小额定电压时，使直流电压下降。这个滞环将使镇流器明确的开通和关断。

## CS 和 EOL 故障模式 (FAULT)

在运行模式的任何时间，当  $SD/EOL$  脚电压超过 3V 或低于 1V 时，IC 进入故障模式，驱动输出 HO, LO 和 PFC 都被锁定为低电平。CPH 到 COM 放电，复位预热时间，同时  $CT$  到 COM 放电，关断振荡器。要想退出故障模式， $VCC$  电压必须下降至低于  $UVLO$  的下门限，或者关断管脚  $SD$  的电压拉高至大于 5.2V。这两种方式都可以使 IC 进入  $UVLO$  模式，一旦  $VCC$  电压大于开通门限，同时  $SD$  低于 5.0V，IC 将进入预热模式开始振荡。电流检测功能只在检测到 60 次  $CS$  脚电压大于 1.3V 后使 IC 进入  $UVLO$  模式。这些过电流必须在 LO 开通期间发生。

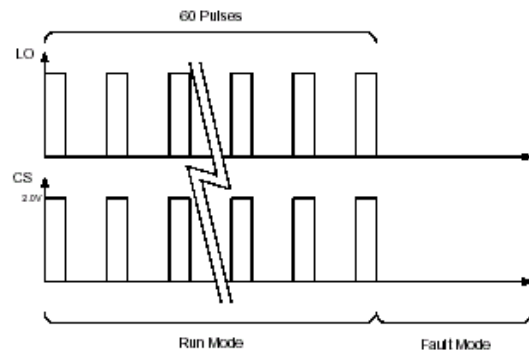


图 5. CS 和 LO 波形

## II PFC 功能介绍

在大多数电子镇流器中，希望电路对交流电网而言为纯阻性，电路是否为纯阻性，以电路中输入电压和输入电流之间的相位以及输入电流的波形形状是否与输入电压的正弦波相一致来衡量。输入电流与输入电压之间相角的余弦定义为功率因数（PF），以及输入电流波形的形状与输入电压波形的形状一致性定义为总谐波失真（THD）。功率因数 1（最大）表示相移角为零，THD 为 0% 表示纯正弦波（无失真）。为了达到此目的，IR2166 包括有一个有源功率因数校正电路，针对交流输入电压产生一个交流输入电流。IR2166 实现的控制方法为工作于临界导通模式 (CCM) 的升压型变换器。即在 PFC MOSFET 的每个开关周期，电路一直等待到电感电流放电到零时，才再次开通 PFC MOSFET。PFC MOSFET 的开关频率 (>10KHz) 远大于电网频率 (50—60Hz)。

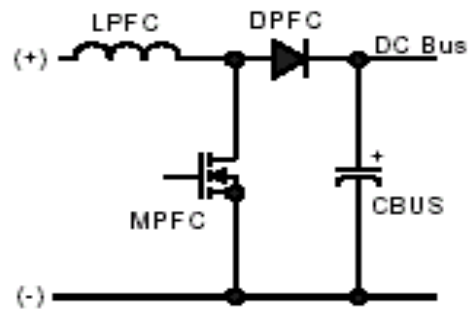


图 6 升压 PFC 电路

当开关 MPFC 开通，电感 LPFC 接到整流输出的+和-端，LPFC 电流线性增加。当 MPFC 关断，LPFC 连接于整流输出的+和直流母线电容 CBUS (通过二极管 DPFC)，LPFC 中电流流向 CBUS。由于 MPFC 高频工作，CBUS 电压被充到一个特定的电压。IR2166 的反馈回路通过连续检测直流母线电压和相应地调节 MPFC 的开通时间，将电压调整到一个固定的值。直流电压上升，开通时间减小，直流电压下降，开通时间增加。这个负反馈控制是低速和低增益的，因此电感平均电流平滑地跟随低频电网电压，从而实现高功率因数和低 THD。在多个电网电压周期内，MPFC 的开通时间表现为固定的（随后讨论其它调制）。因为开通时间固定，关断时间由电感电流释放到零决定，结果是系统的频率自由改变，并连续的从交流电压过零附近的高频到交流电压达到峰值时的较低频率（图 7）。

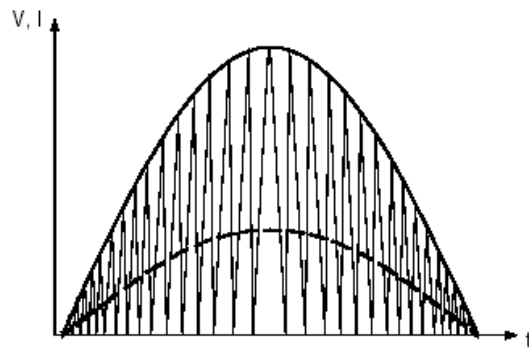
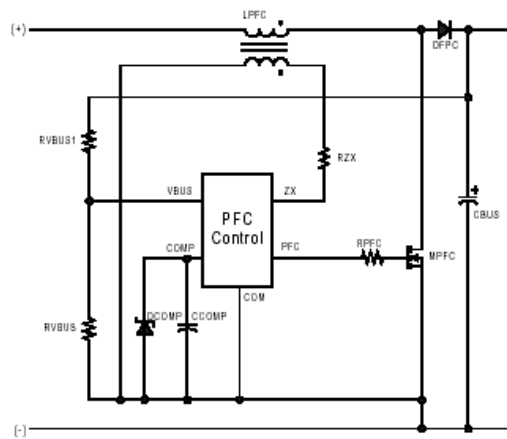


图 7 正弦输入电压（实线）三角形 PFC 电感电流和光滑的正弦输入电流（虚线）半个周期

当交流电压较低（过零附近），电感电流升到一个较小的值，那么放电就较快，因此开关频率高。当交流电压较高（峰值附近）电感电流升到一个较高的值，放电时间也较长，频率较低。三角形



PFC 电感电流被 EMI 滤波器平滑而产生正弦交流电流。

IR2166 的 PFC 控制电路只需要四个控制脚：VBUS、COMP、ZX 和 PFC。VBUS 脚检测直流电压（通过外部电阻分压器），COMP 脚设定 MPFC 的开通时间和反馈回路速度，ZX 脚检测电感电流过零（通过 PFC 电感的二次侧绕组），PFC 脚是 MPFC 的栅极驱动输出。

图 8 IR2166 简化了 PFC 控制电路

以内部 4V 电压为参考，调节 VBUS，实现直流母线电压的调整（图 9）。反馈回路是一个传导可调(OTA)放大器，其灌或拉电流流向外部 COMP 脚的电容。COMP 脚的电压为内部电容 C1 充电的阈值，决定 MPFC 的开通时间。在镇流器预热和触发期间，OTA 的增益设定较高，很快给直流母线充电，减小可能发生在触发期间的直流母线的瞬态冲击。在运行期间，增益调整到一个较低的水平，获得高的功率因数和低的 THD。

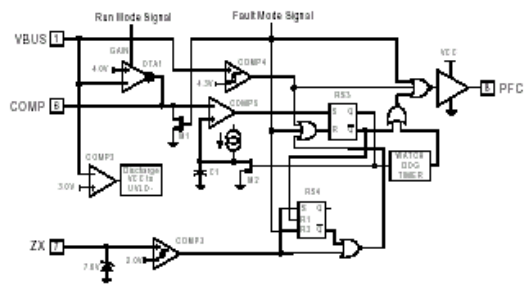


图 9 IR2166 PFC 内部控制电路

MPFC 关断时间决定于 LPFC 放电到零的时间。由连接到 ZX 脚的 LPFC 二次侧绕组检测零电流。一个超过电路内部 2V 阈值的上升前沿是关断时间的开始。当 LPFC 电感电流放电到零时，一个低于电路内部 1.7V 阈值的下降前沿是关断时间的结束，MPFC 再次开通（图 10）。此过程不确定周期地重复，直到镇流器出现故障而关闭 PFC 功能（故障模式）。如直流母线电压过压或欠压，或 ZX 脚没有检测到下降负沿，如果 ZX 脚没有负沿，MPFC 将保持关断，直到内部定时器强迫 MPFC 开通，而开通时间由 COMP 脚的电压决定。定时器脉冲每  $400\mu S$  不确定地发生，直到 ZX 脚出现正确的上升和下降沿信号，PFC 正常工作。

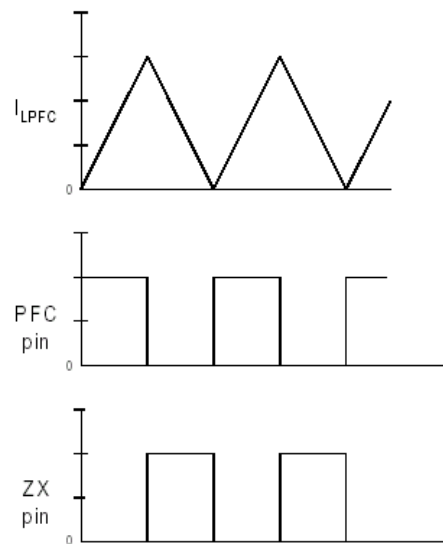
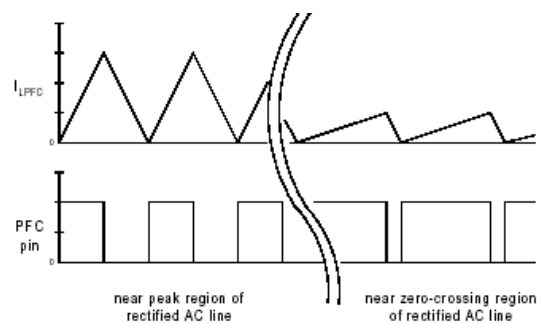


图 10 LPFC 电流、PFC 脚波形和 ZX 脚时序

### 开通时间调制

输入电压整个周期内的 MPFC 固定开通时间将自然地产生一个随输入电压正弦形状变化的峰值电感电流。平滑的平均输入电流与输入电压同相，因此功率因数高，但是由于单个较高的谐波，使电流的



总谐波失真仍然较大。这是由于输入电压零点附近的输入电流交越失真引起的。为了得到较低的谐波，以满足国际标准和市场要求，给 PFC 控制增加了一个辅助开通时间调制电路。当输入电压在过零附近，这个电路动态地增加 MPFC 的开通时间（图 11），这样产生的 LPFC 峰值电流，也即平滑的输入电流在过零附近略微增加。使输入电流的交越失真减小到一个较低的水平，从而减小 THD 并降低较高的谐波。

图 11 过零时的开通时间调制

## 过电压保护 (OVP)

如果直流母线过电压使 VBUS 脚超过内部 4.3V 阈值，PFC 输出关闭（逻辑 0），当直流母线电压再次下降，使 VBUS 脚下降到内部 4V 阈值以下，定时脉冲将强迫 PFC 脚输出，PFC 恢复正常工作。

## 欠压复位 (UVR)

当输入电压下降、中断或较低时，PFC 反馈使 MPFC 的开通时间增加以保持直流电压不变，当开通时间增加太多，会使 LPFC 的峰值电流超过其饱和电流极限，LPFC 会饱和，从而产生非常高的峰值电流和  $di/dt$ ，为了防止发生，用在 COMP 脚并联稳压管来限制 DCOMP 脚的最高电压的方法限制最大开通时间（图 8）。随着输入电压的降低，因为 COMP 脚电压的限制，开通时间也最终被限制。PFC 不能再提供足够的电流维持特定负载功率下的直流母线电压，直流母线电压开始下降。输入电压的进一步下降将使 VBUS 脚电压下降到内部 3V 阈值以下（图 9）。当这种情况发生，VCC 通过内部放电并低于 UVLO-，IR2166 进入 UVLO 模式，PFC 和镇流器部分功能关闭（见状态图）。VCC 启动电阻以及 IR2166 的微功率启动决定输入电压的开通点，这个值应该设定的使镇流器开通的输入电压高于欠压关断电压。因此要选择合适的 VCC 启动电阻和 COMP 脚的稳压管、正确地选择镇流器启动和关闭时的输入电压值。选择了正确的阈值点，当 VBUS 脚电压下降到 3V 以下时，镇流器关闭，由于 VCC 启动电阻给 VCC 充电，镇流器将在较高的输入电压下再次启动，这个滞环将使镇流器能正确地复位，而不会当直流母线电压很低时出现灯闪烁、直流电压跳动或再触发。

## 镇流器设计公式

注：由于 IC 的偏差、元件容差和内部比较器响应时间引起的过或欠振荡，从下列设计公式得到的结果会与实际测量有较少误差。

### 步骤 1: 确定死区时间

栅极驱动输出 HO 和 LO 之间的死区时间由定时电容 CT 和内部死区时间电阻 RDT 确定。死区时间是电容 CT 从  $3/5V_{CC}$  到  $1/3V_{CC}$  的放电时间，公式如下：

$$t_{DR} = C_T \cdot 1475 \quad (\text{S}) \quad (1)$$

或



$$C_T = \frac{t_{DT}}{1475} \quad (\text{F}) \quad (2)$$

**步骤2: 确定运行频率**

最后运行频率由定时电阻  $R_T$  和定时电容  $C_T$  确定, 电容  $C_T$  从  $1/3V_{CC}$  到  $3/5V_{CC}$  的充电时间决定栅极驱动输出 HO 和 LO 的开通时间。运行频率计算公式如下:

$$f_{RUN} = \frac{1}{2 \cdot C_T (0.51 \times R_T + 1475)} \quad (\text{H}_z) \quad (3)$$

或

$$R_T = \frac{1}{1.02 \cdot C_T \cdot f_{RUN}} - 2892 \quad (\Omega) \quad (4)$$

**步骤3: 确定预热频率**

预热频率由定时电阻  $R_T$  和  $R_{PH}$  以及定时电容  $C_T$  决定。在预热期间, 定时电阻通过内部并联连接。预热频率计算公式如下:

$$f_{PH} = \frac{1}{2 \cdot C_T \cdot \frac{(0.51 \cdot R_T \cdot R_{PH} + 1475)}{R_T + R_{PH}}} \quad (\text{H}_z) \quad (5)$$

或

$$\left\{ \frac{1}{1.02 \cdot C_T \cdot f_{PH}} - 2892 \right\} \cdot R_T \quad (\Omega) \quad (6)$$

$$R_{PH} = \frac{R_T - \left\{ \frac{1}{1.02 \cdot C_T \cdot f_{PH}} - 2892 \right\}}{1.02 \cdot C_T \cdot f_{PH}}$$

**步骤4: 确定预热时间**

预热时间由管脚 CPH 上的电容从 0 充电到 10V 的时间决定。一个内部的  $2 \mu\text{A}$  电流源流入管脚 CPH。预热时间的计算公式如下:

$$t_{PH} = C_{PH} \cdot 5e6 \quad (\text{S}) \quad (7)$$

或

$$C_{PH} = t_{PH} \cdot 0.2e - 6 \quad (\text{F}) \quad (8)$$

**步骤5: 确定最大触发电流**

最大触发电流有外部电阻  $R_{CS}$  和内部 1.3V 门限共同决定。该门限定义镇流器的过流点, 触发频率靠近谐振点或灯管触发失败时, 会超过这个门限。最大触发电流计算公式如下:

$$I_{IGN} = \frac{1.3}{R_{CS}} \quad (\text{A}) \quad (9)$$

或

$$R_{CS} = \frac{1.3}{I_{IGN}} \quad (\Omega) \quad (10)$$

## PFC 设计公式

### 步骤 1 计算 PFC 电感值

$$L_{PFC} = \frac{(VBUS - \sqrt{2} \cdot VAC_{MIN}) \cdot VAC_{MIN}^2 \cdot \eta}{2 \cdot f_{MIN} \cdot P_{OUT} \cdot VBUS} \quad (\text{H}) \quad (1)$$

其中：VBUS: 直流母线电压

$VAC_{MIN}$  : 最小交流输入电压有效值

$\eta$  : PFC 效率 (典型 0.95)

$f_{MIN}$  : 最小交流输入电压时最小 PFC 开关频率

$P_{OUT}$  : 镇流器输出功率

### 步骤 2 计算 PFC 电感峰值电流

$$i_{PK} = \frac{2 \cdot \sqrt{2} P_{OUT}}{VAC_{MIN} \cdot \eta} \quad (\text{A}) \quad (2)$$

注：PFC 电感在峰值电流时不应饱和，在整个确定的镇流器工作温度范围内，在电感设计时，应充分考虑合适的磁芯尺寸和空气气隙。

### 步骤 3 计算最大开通时间

$$t_{ON_{MAX}} = \frac{2 \cdot P_{OUT} \cdot L_{PFC}}{VAC_{MIN}^2 \cdot \eta} \quad (\text{S}) \quad (3)$$

### 步骤 4 计算最大补偿电压：

$$V_{COMP_{MAX}} = \frac{t_{ON_{MAX}}}{0.9E-6} \quad (\text{V}) \quad (4)$$

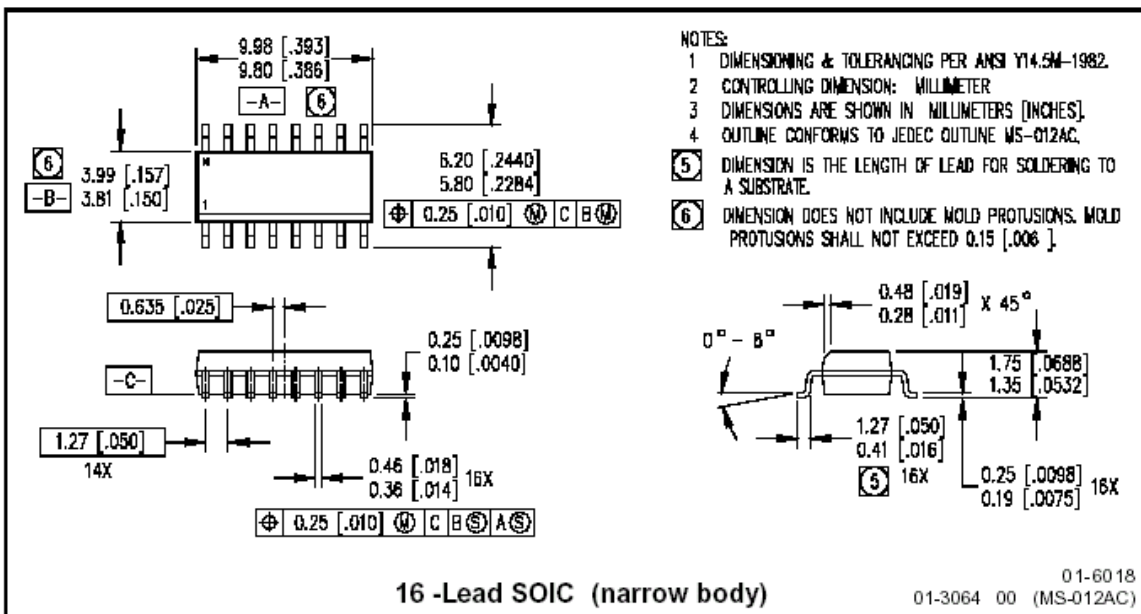
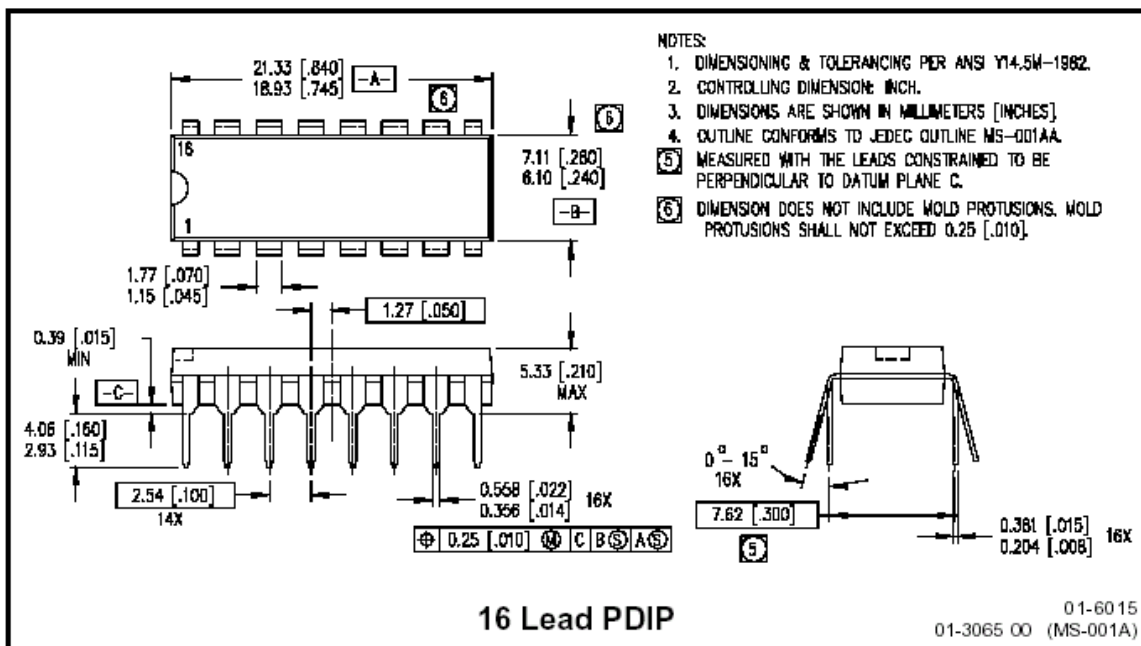
### 步骤 5 选择稳压管 Dcomp 值

$$D_{COMP} \text{ zener voltage} \approx V_{COMP\_MAX}$$

步骤 6 计算启动电阻 R<sub>SUPPLY</sub> 值

$$R_{SUPPLY} = \frac{V_{AC\_MIN\_PK} + 10}{I_{QCCUV}} \quad (\Omega) \quad (6)$$

封装尺寸



注：IR2166 的其他有关图表见英文数据表。