



福州大学
FUZHOU UNIVERSITY

Magnetics and Power Conversion Lab

基于L6562A的APFC设计

张锦吉、戴荣东、毛行奎、陈为

福州大学电气工程与自动化学院

2009-11-14



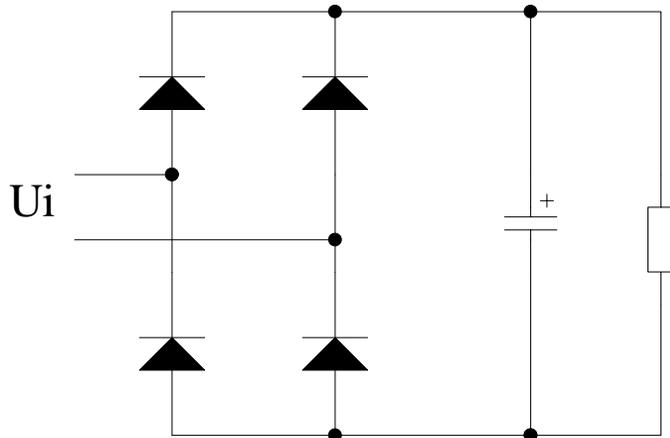
主要内容

- 1、前言
- 2、临界电流模式的APFC原理
- 3、基于L6562A的APFC设计
- 4、结论

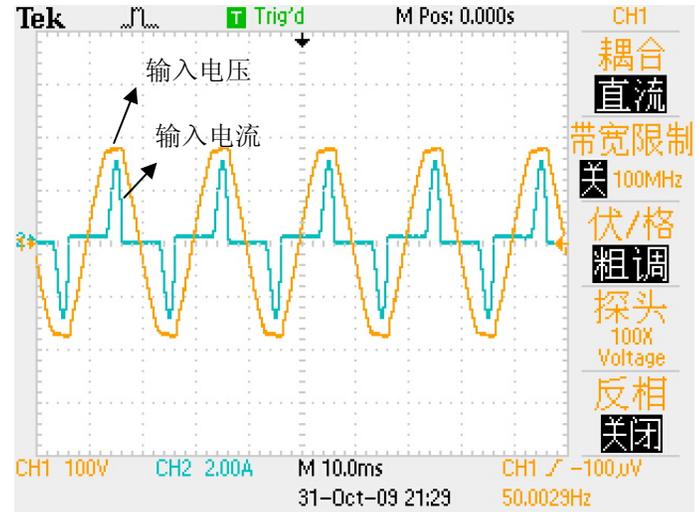


1、前言

传统AC/DC采用桥式整流器和大容量滤波电容器组成的电容输入型电路，其PF值较低，一般为0.55~0.65



电容输入型电路



$V_{rms}=140V_{ac}$ ，纯阻性负载
 $R=300\Omega$ 时的输入电压电流波形



2、临界电流模式的APFC原理

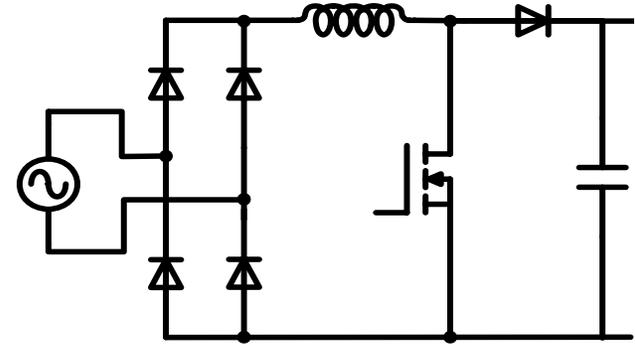
分类:

- 无源功率因数校正法(PPFC)
- 有源功率因数校正法(APFC)

Boost电路以其特有的优点
被广泛地应用于APFC变换器

目前，市场上有许多芯片应用于APFC，
根据电感电流是否连续，分为两种

- 连续导通模式(CCM)
- 临界或过渡导通模式(TCM)

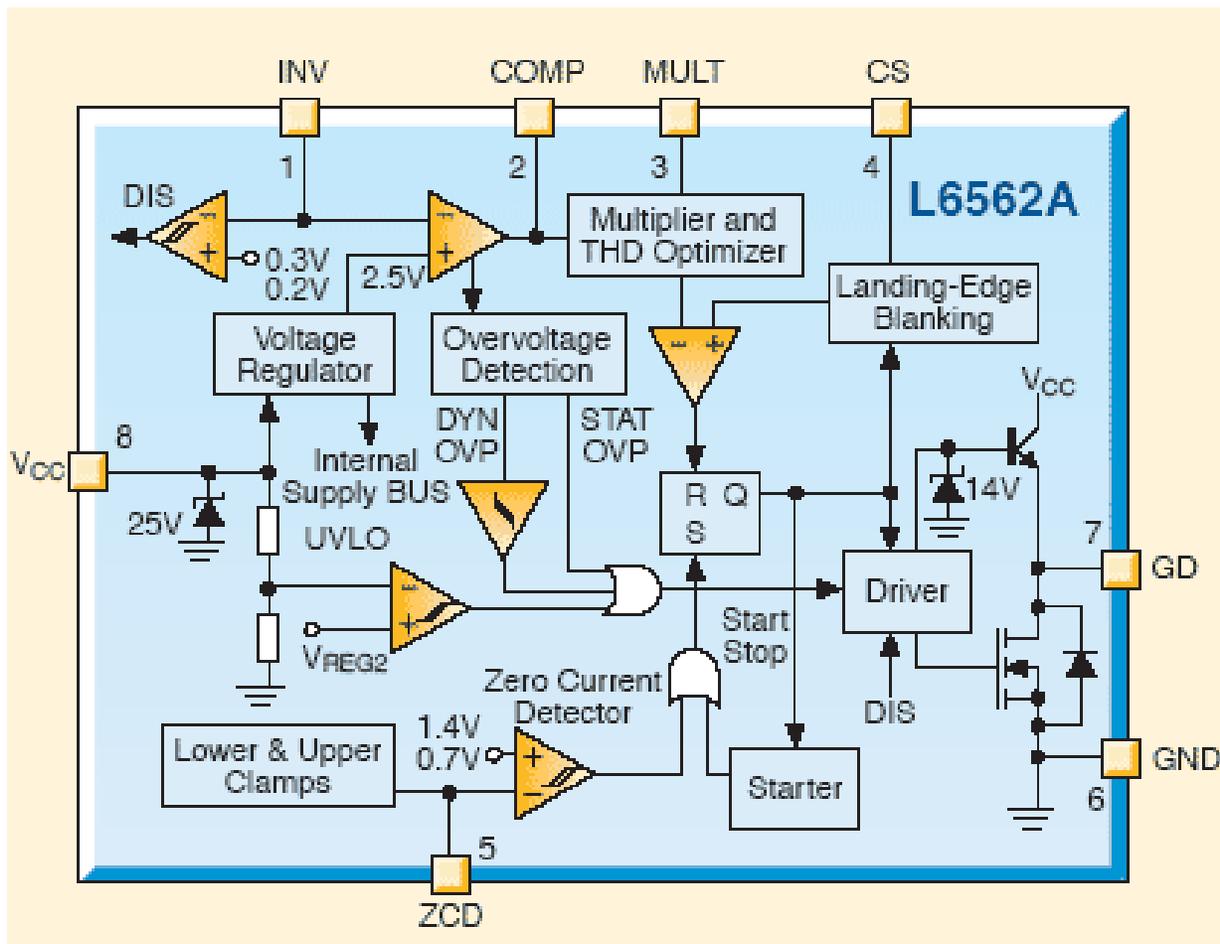


APFC的Boost电路拓扑



2、临界电流模式的APFC原理

L6562A是ST公司PFC产品系列的最新器件之一，它是在L6561和L6562基础上进一步改善开发的，主要是应用于TCM的功率因数校正电路。



L6562A芯片内部结构框图



2、临界电流模式的APFC原理

L6562A主要特点有：

- 乘法器内置 *THD* 优化电路，以减小过零点失真，降低 *THD* 值（这是 **L6561** 所不具备的）；
- 极低启动电流（典型值：**30uA**；保证**60uA**以下），可降低芯片功耗；
- 内部参考电压于**25℃**时误差率在**1%**以内；
- 除能（**Disable**）功能，当误差放大器输入低于**0.2V**，系统将关闭，降低损耗；
- 精确可调的外部过电压保护；
- 内部启动及零电流侦测(**ZCD**)功能；
- 在电流检测输入端内置领先的数字**RC**滤波器，过零频率附近的高频区域仍然可以工作，因此降低了总的谐振失真度；
- **800mA**的图腾级输出，可用于直接驱动**Power MOSFET**。

这些特点比**L6561**和**L6562**都有较好的改善



2、临界电流模式的APFC原理

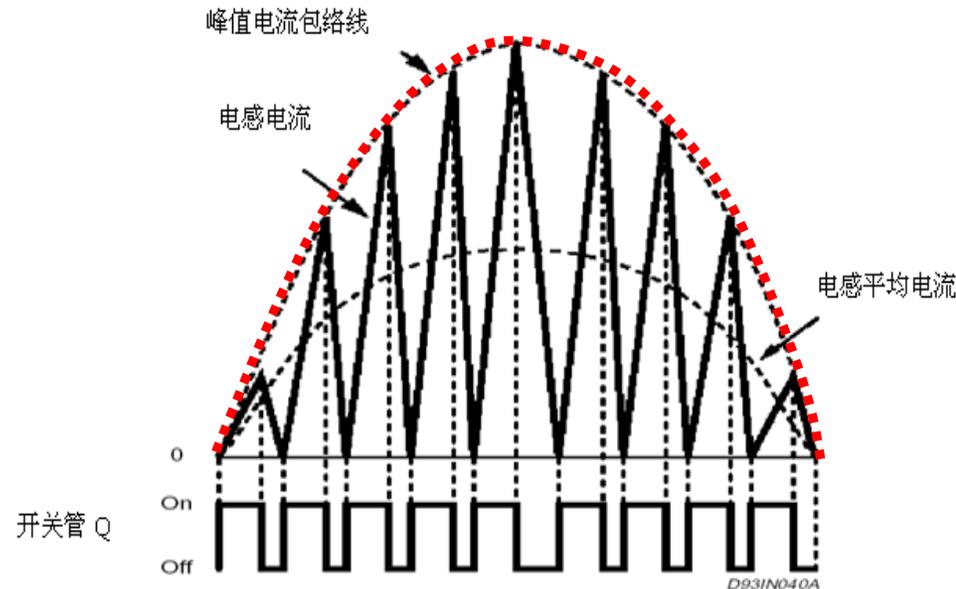
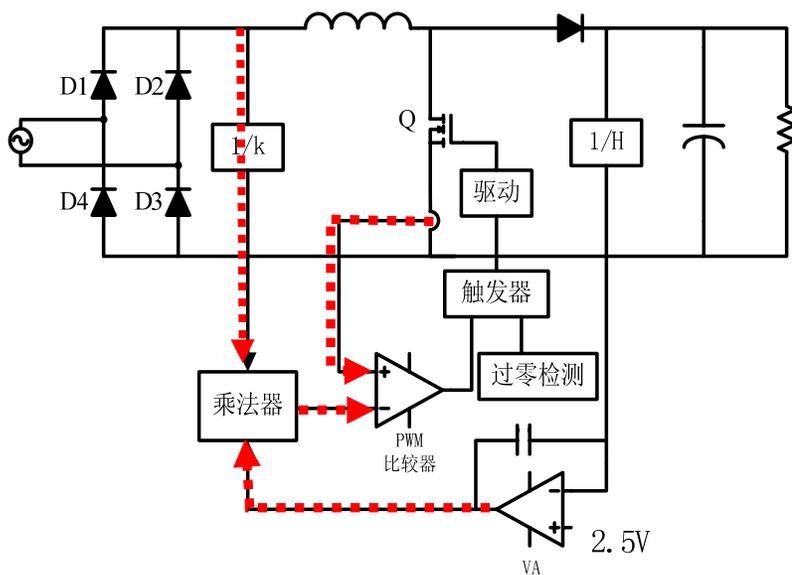
L6562A和L6562的对比

参数 / 功能	L6562	L6562A
电流感应动态电压 (典型值)	1.7V	1.1V
是否可通过把FB输入置为低来使器件无效	否	是
在70kHz时的工作功耗(典型值)	3.5mA	3.0mA
动态OVP触发电流(电流)	40 μ A	27 μ A
电流感应器数字消隐时间	否	是
ZCD 启动/触发/钳位 阈值 (典型值)	2.1/1.6/0.7V	1.4/0.7/0V
IC启动 & 关断阈值(典型值)	12/9.5V	12.5/10V
电流感应传输延迟 (典型值)	200ns	120ns
关断阈值范围 (最大值)	\pm 0.8V	\pm 0.5V
乘法器增益(典型值)	0.6	0.38

与L6562相比，L6562A具有更高的性能

2、临界电流模式的APFC原理

L6562A是采用变频的PFC控制芯片，使Boost电路升压电感工作在临界电流模式。下面推导其功率因数校正的原理。



$$V_i = L \frac{di}{dt} = L \frac{\Delta i}{T_{on}} \quad \longrightarrow \quad i_{in}(t) = i_{av}(t) = \frac{1}{2} i_{pk}(t) = \frac{1}{2} \Delta i = \frac{V_i(t) \times T_{on}}{2L}$$

由上式可知瞬态输入电流与瞬态输入电压成正比，从而使得PF=1

3、基于L6562A的APFC设计

电感设计:

- 本电路工作于变频控制方式，设计电感时，要按最低开关频率考虑
最低开关频率要大于内部启动器的最大频率，以确保电路工作于正确的TCM操作
- L6562A芯片的最小工作频率建议大于14kHz，以不干扰内部启动器
(内部最小重启时间为75us) 确保芯片在临界电流模式工作，
本设计最小开关频率选为25kHz
- 开关频率最小值发生在输入电压幅值时 ($\theta = 90^\circ$)
最大值发生在输入电压过零时 ($\theta = 0^\circ$)

下面推导电感L与 f_{min} 的关系:



3、基于L6562A的APFC设计

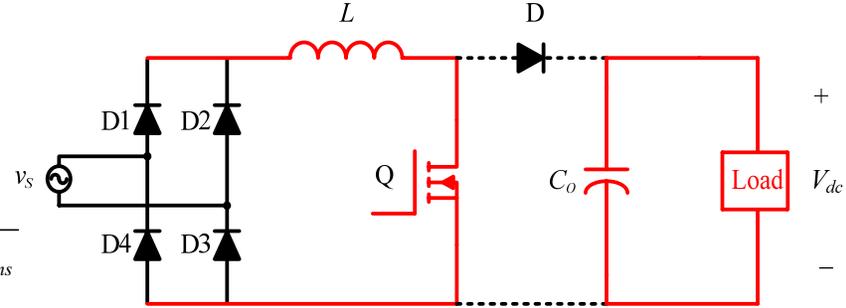
开关管导通: $T_{on} = \frac{L \times i_{Lpk} \times \sin(\theta)}{\sqrt{2} \times V_{irms} \times \sin(\theta)} \xrightarrow{\theta=90^\circ} \frac{L \times i_{Lpk}}{\sqrt{2} \times V_{irms}}$

开关管关断: $T_{off-max} = \frac{L \times i_{Lpk} \times \sin(\theta)}{V_o - \sqrt{2} \times V_{irms} \times \sin(\theta)} \xrightarrow{\theta=90^\circ} \frac{L \times i_{Lpk}}{V_o - \sqrt{2} \times V_{irms}}$

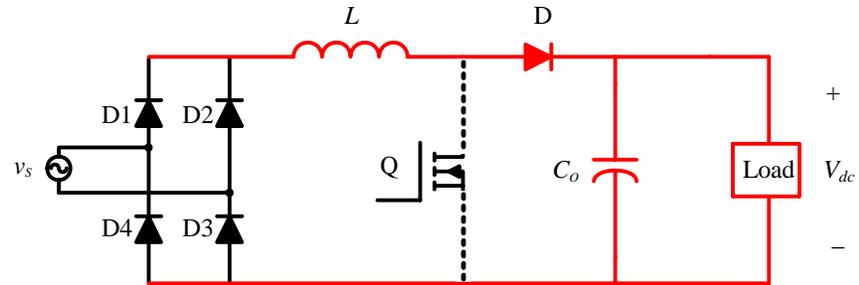
又因为: $i_{Lpk} = 2\sqrt{2}P_i / V_{irms}$

整理得: $f_{min} = \frac{1}{T_{on} + T_{off-max}} = \frac{1}{2 \times L \times P_i} \times \frac{V_{irms}^2 \times (V_o - \sqrt{2} \times V_{irms})}{V_o}$

则: $L = \frac{V_{irms}^2 \times (V_o - \sqrt{2} \times V_{irms})}{2f_{min} \times P_i \times V_o}$



功率开关Q导通之等效电路



功率开关Q截止之等效电路

3、基于L6562A的APFC设计

根据式 $f_{\min} = \frac{1}{T_{\text{on}} + T_{\text{off}}} = \frac{1}{2 \times L \times P_i} \times \frac{V_{\text{irms}}^2 \times (V_o - \sqrt{2} \times V_{\text{irms}})}{V_o}$ 当输入电压变化时，开关的最小频率也在变化

由图可知 f_{\min} 可能出现在最小或者最大 V_{irms} 下

根据式
$$L = \frac{V_{\text{irms}}^2 \times (V_o - \sqrt{2} V_{\text{irms}})}{2 f_{\min} \times P_i \times V_o}$$

即可确定电感值L

依据下式的AP值即可设计电感器

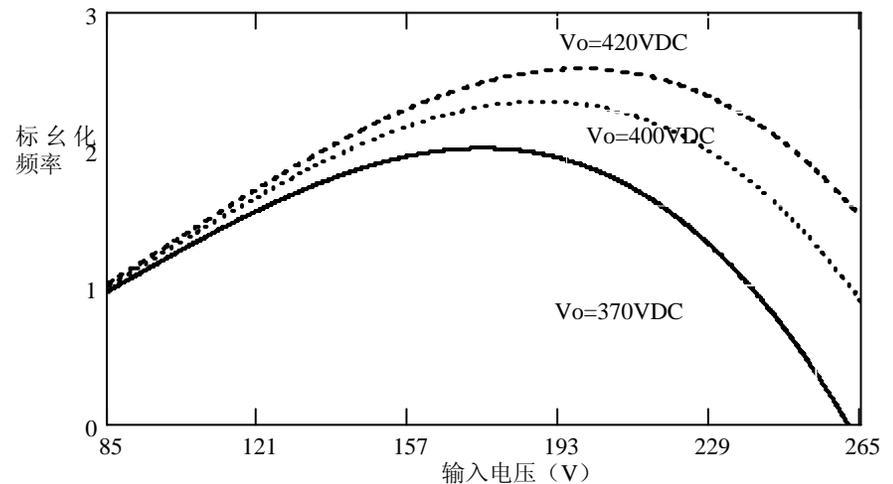
$$AP = \frac{8LI_{\text{irms}}^2}{JB_m K_u}$$

其中 $I_{\text{irms}} = P_i / V_{\text{irms}}$

J 为线圈电流密度

B_m 为磁心最大工作磁密

K_u 为线圈窗口填充系数

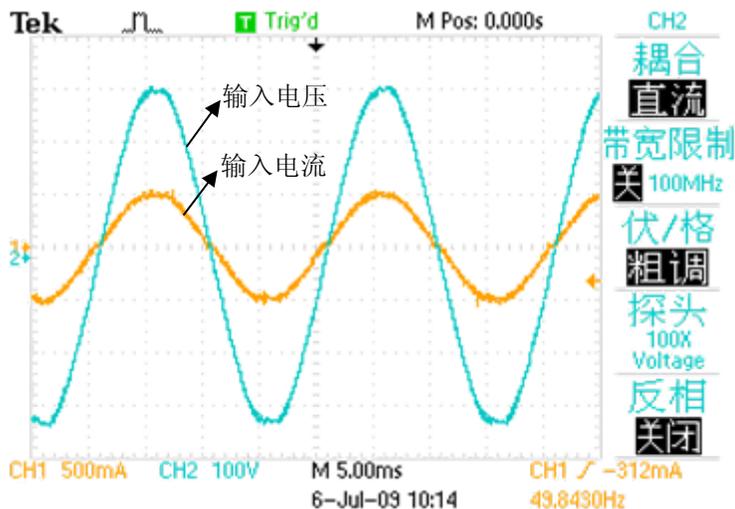


不同输出电压的最小开关频率 f_{\min} 与输入电压的关系

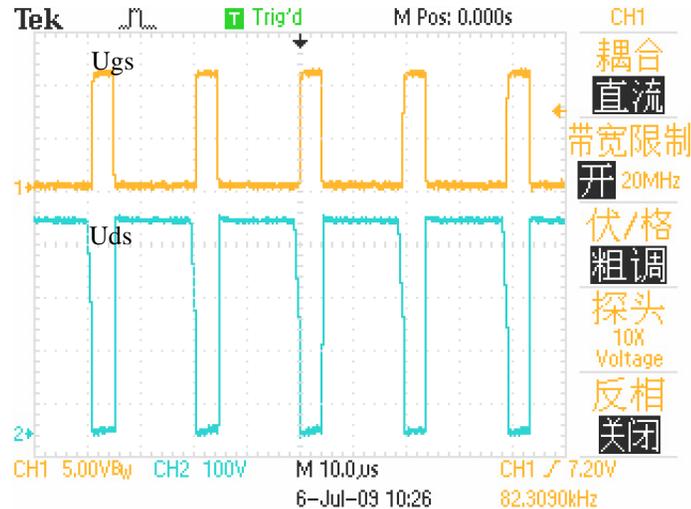
3、基于L6562A的APFC设计

75W APFC样机实验数据

输入电压 (V)	输入功率 (W)	输出电压 (V)	输出功率 (W)	效率	PF	THD (%)	输出电压纹波 (V)
176	77.2	399.4	75	0.972	0.999	3.6	8
220	77.0	400.0	75	0.974	0.999	4.5	8
250	76.7	399.7	75	0.978	0.998	5.4	8



Virms=220VAC、Po=75W时
样机输入电压电流波形



开关管Ugs、Uds的波形



4、结论

通过实验结果分析表明基于 L6562A 的临界连续模式的有源功率因数校正电路具有：

- 结构简单、体积小、工作稳定可靠
- *PF*值高、*THD*值低
- 适用于小功率APFC 电路应用



Magnetics and Power Conversion Lab

谢谢!

