

设计与制造

基于 UCC28070 交错并联 5G 通讯电源的 PFC 部分设计与应用

杨云霞

(合肥经济技术职业学院 安徽合肥 230031)

The Phase Interleaving PFC for 5thG Communication Power Design and Application based on the chip UCC28070
Hefei Professional College of Economics and Technology

Author: Yang-Yunxia

摘要: 传统的以 UC2854 为代表的 PFC 电路, 将它应用到大功率 (3KW 以上) 电路中, 其弊端就会凸显出来。而 TI 公司的 UCC28070 采用了更先进的交错并联技术, 纹波小、输出电容小, 开关管应力小了 1/2, 输入纹波小了, 输入 EMI 压力小了, 整体效率就高了。以 UC2854 为代表的 PFC 电路实现效率为 92.11%, 本文中以 UCC28070 实现的整机效率能达到 94.46%, 提高电能使用率。

关键词: 3KW, 交错并联, UCC28070

Abstraction:

The traditional PFC, which is done with chip UC2854, is very difficult to be used in extremely high power over 3KW. There is a better technology of phase interleaving with TI's (Texas Instrument) UCC28070 for such high power situation for less ripple, little capacitor, and less pressure of MOSFET. While the ripple is down, the input EMI is effective with a better efficient of total. The efficient is 92.11% of UC2854 type PFC, but that is 94.46% far better in efficient of the PFC with UCC28070 in this essay.

Key words: 3KW, phase interleaving, UCC28070

开关电源本身由于存在输入电容, 而且电容容量比较大, 相当于是一个大的容性负载。输入的 220V 市电在经过全桥整流电路和滤波电路以后, 由于电路中存在容性的非线性因素, 引起输入电流发生断续畸变。正弦波的电网电压所输入的电流呈现出脉冲特性。根据傅里叶级数分析, 等同于在正弦波的电流基础上, 叠加了很多的高频分量。这些高频分量中含有大量的能量但是却不能够被电源所使用, 而是被前级各个电子元件所吸收, 产生大量的热能, 即产生了一定的无功功率 Q, 于是电源的整体功率因数 PF 很差, 能耗很大, 效率非常低。同时会污染电网及用电环境, 干扰到电路中其他的一些用电设备。必须减小电路中所产生的谐波电流分量, 进而才能提高电路的功率因数。轻薄简单, 效率高、发热量少, 将会是未来开关电源发展的一种趋势。

随着时代的发展, 在电路设计的过程中, 往往开始要求设计者更加重视 EMC 电路, 设计高功率因数的电路, 降低设备的能源消耗, 减少碳排放量, 缩小开关电源的体积和重量, 节约金属材料的使用, 节约电网线路的材料, 降低 EMI 辐射, 降低传导污染。目前在较高档次电路设计中, 在前级都要求设计相关的 PFC (功率因数校正电路), 经过校正后, 电路的功率因数 PF 能够接近于“1”, 无功功率 Q 接近于“0”。

一、系统总体设计框架

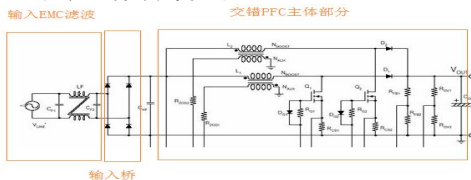


图 1 总体结构框架图

由 UCC28070 形成的交错并联 PFC 电路大致由以下几个部分组成: 1.输入 EMI 滤波电路。2.桥式整流电路。3.两个参数完全一样的 boost PFC 电路, 工作在 1/2 主频的驱动信号相位相差 180 度, 从而实现电流交错叠加。

1. EMC 电路的设计

EMC 电路作为电源的输入级, 需要完成对共模干扰电流和差模干扰电流的滤除, 电路设计图如图 2 所示。主要有以下两个关键点。

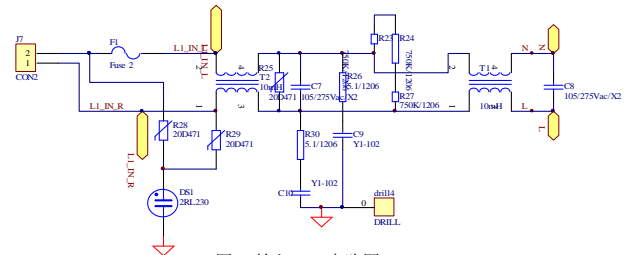


图 2 输入 EMC 电路图

关键点一: 共模干扰的产生

在开关电源电路中, 当开关 MOS 电源管工作在输出功率时, 输出电流大于 10% 的时候, 开关电源中的 MOS 管和输出整流二极管与大地 (散热器为了降低干扰, 一般需做接大地处理) 之间存在着不可忽略的分布电容, 一般 TO247 金属封装的管子分布电容可以达到几百皮法。在此工作过程中, 开关电源中 MOS 管和输出整流二极管, 会在开和关的瞬间, 产生远远高于基础方波频率的高频分量, 而且这些高频噪声也具有一定的能量。此高频噪声频率非常高, 通常达到 300KHZ 以上, 因此, 非常容易通过分布电容传入到参考接地的大地中, 在电

网的供电线路之间形成回路,存在高频分量而产生共模干扰。

关键点二:差模干扰的产生

开关电源电路工作在稳定输出的状态时,电源中的功率开关管工作在开关状态。当 MOS 管处于开(导通)状态时,在线路电压的作用下,高频变压器的电流便会呈线性上升。当功率 MOS 管处于关(断开)状态时,电流又会强制突变为 0。因此,开关电源线路中的工作电流都是高频的、三角波的脉冲电流,通过傅里叶级数对这种电流进行分析,电流中不但含有偶次倍数的高频谐波分量,还含有奇次倍数的高频谐波分量。这些高频谐波分量通过线路和空间形成了差模干扰。

此文章中设计方案有两个关键思路。(1)对于共模干扰:在电路输入端设计了大阻抗的共模抑制滤波电感。为了达到比较好的效果,采用非晶磁环绕制,单个共模抑制滤波电感对共模干扰的阻抗达到 30mH。同时为了达到欧盟的 ClassB 级别的目的,在电网输入端,使用两级设计。预留了屏蔽外壳的安装空间,可以进一步提高对空间电磁干扰的屏蔽效果。(2)对于差模干扰:PFC 电路的输入级采用 KS184060 绕制的 PFC 非饱和电感,感值大,分布参数小,比较理想,该电感不但具有 PFC 矫正作用,同时滤除了绝大部分的差模干扰。

2.输入部分首先进行浪涌保护,防止由于遭遇雷击而使电路失效。

3.EMC 电路采用了两级,根据经验,X 电容采用了 105/275Vac/X2,共模电感采用 10mH 感量。

4.Y 电容串联了一个小电阻,降低了传导噪声。

二、储能电感设计

1.PFC 储能电感中流过的电流

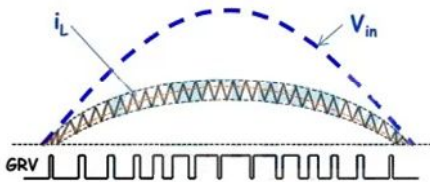


图 3 电流连续模式 (CCM) 时电感、电流与电压的关系 PFC 储能电感中流过的电流如图 3 所示。

从图中可以看出,在电流连续模式 (CCM) 时,电感中的电流基波与输入电压同相位、同频率。PFC 储能电感中电流随着开关管的不断工作呈锯齿状,在一个工频周期 50Hz 内,电感电流不为 0,也就是说,在此周期内,电感中始终有电流流过。在这样一种工作机制下,电感在工作周期中,能够提供更大的电流和功率。但是,由于电流连续,同时会带来两个比较棘手的问题:

(1)斜坡补偿:本文后续会对此做详细论述,在 PFC 中,由于电压和电流周期为 10ms,在一个周期结束后,电感中的电流自然回到 0。因此,PFC 电感中电流的斜坡补偿只需要设计在 10ms 以内。

(2)电感饱和:由于电感中的电流连续,如果出现在 10ms 以内饱和,瞬间就会带来灾难性结果。

2.计算电感相应参数

$$K(D) = \frac{\Delta I_{in}}{\Delta I_{L1}} \quad (\text{公式 1})$$

$$K(D) = \frac{2D - 1}{D}, D > 0.5 \quad (\text{公式 2})$$

K(D)为输入纹波和总纹波比值。

由于 3.6KW 的电流比较大,工作在电流连续模式,D 最大取 95%,在交错并联的应用中,每个支路输出功率是总功率的一半,输出纹波是相互抵消的。基于最大占空比、最大纹波、最大输出功率进行计算。

$$D = \frac{V_{out} - V_{in_{min}}}{V_{out}} = \frac{400 - 175 \times \sqrt{2}}{400} = 0.38$$

$$K = \frac{1 - 2 \times 0.38}{1 - 0.38} = 0.39$$

$$\Delta I = \frac{P_{out} \times 0.3 \times \sqrt{2}}{V_{in_{min}} \times \eta \times K} = \frac{3600 \times 0.3 \times \sqrt{2}}{175 \times 0.97 \times 0.39} = 7.2$$

$$L = \frac{V_{in_{min}} \times \sqrt{2} \times D}{\Delta I \times f_s} = \frac{175 \times 0.38 \times \sqrt{2}}{7.2 \times 200} = 33.8$$

根据计算,储能电感最小值是 33.8uH,同时参考到 TI 给出的 PMP4311A 范例,采用 360uH 感量。

3. PFC 储能电感磁芯的选取

由于工作电流大,同时 CCM 模式下,电流连续,磁场连续,工作过程中,如果发生磁芯饱和,势必造成以下几种情况:

(1)电感失去感值,等同一根导线,线路电流发生突然增长,MOS 管会过流而损坏。

(2)磁芯温度短时间内上升得非常快,会损坏设备。

(3)电流不可预测,电流检测电路失效,进而造成电路控制逻辑失效,引起未知问题。

因此,既需要 PFC 电感能够正常工作,在大电流、大动态、大范围内,能够表现出足够的感值并且不会饱和,磁芯选取比较重要。

经过对比铁氧体、铁粉芯、铁硅铝等行业内常用材料,选取了铁硅铝磁环作为 PFC 电感磁芯,用 CS 来表示。与高通量铁粉芯对比,铁硅铝磁粉芯的磁性能比较好,具有损耗比较小、接近零磁致伸缩的特性,同时,还具有高温下稳定性高的优点。

为了保证工作过程中 PFC 电感能够正常工作,使用磁导率为 60uH 的 CS184060 铁硅铝磁环绕制。满载时电感量下垂不低于 330uH。

三、MOS 电源管电流检测

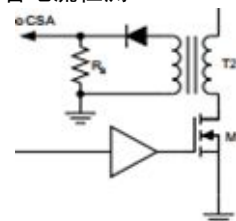


图 4 电流检测示意图

1.UCC28070 在电流检测方面非常独特。

进行电流检测时,将电流互感器串联在 MOS 电源管的 D 脚上,这样做的好处显而易见。其他 PFC 电路,电

流采样需要使用电阻进行采样，在大功率的情况下，采样电阻就需要消耗相当多的电能，增加了功耗，降低了效率。同时由于采样电阻发热，电路的热设计就变得很困难。UCC28070 的采样是创新性地采用电流互感器进行采样，是属于非接触、不发热方式进行采样。没有热量，设计时非常方便。

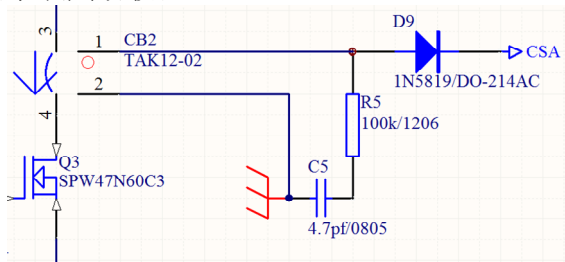


图 5 电流互感器电路参数图

2.互感器采样必须设计采样复位电路。(互感器采样存在的饱和问题)

电路基本参数选取如下：主开关工作在 $75K/2=37.5KHz$ ，占空比最大 95%，电流互感器采用 TAK12-02，电流采样比为 200:1，输出匹配电阻为 20Ω ，输出电压最大在 3V 左右。互感器采样的设计难点是：在死区时间 $(1-D)$ 的时间内，互感器铁芯必须实现良好的磁复位，如果互感器没有实现良好的磁复位，在后续的工作周期中，采样电流信号会出现非线性失真，影响到采样的精度和准确性，最坏的情况，互感器可能饱和，控制电路可能完全失效。那么为了保证在开关管关断的 5%时间内，电流互感器良好的磁复位，必须满足以下条

件：

$$V_{on}XD = V_{off}X(1-d) \quad (\text{公式 7})$$

$3V \times 95\% = V_{off} \times 5\%$ 得到 $V_{off}=57V$ ，再考虑电流平均值， $V_{off}=57V/2=28.5V \approx 30V$ 。即输出复位网络在复位时间里，在输出电压为 30V 时，线路中不会有任何损坏即可。

本次设计中，采用 R5 (100K) 和 C5 (4.7PF) 串联，这种 RC 形式的复位电路最大的好处是：在死区时间内即复位过程中，由于 C 的存在，自动提供电流互感器复位电压，快速复位了互感器中的磁场。不会出现因为复位电路某个原件损坏造成整个电路损坏。

参考文献：

[1] 康建钢.5G 产业发展现状及趋势浅析.基层建设, 2019。
 [2] 马治国, 孟梦, 刘伟.ITU-TL.1000 通用电源适配器标准.电信工程技术与标准化, 2011。
 [3] 曾怡达, 笄贤进, 白茂军.一种最小电压应力的软开关无桥 PFC 技术研究.电子器件.2011。
 [4] JackyZhang.PMP4311A_Sch_RevA.sch.Texas Instruments 5000W PFC, 2011。
 [5] St ü ckler Franz &Siu Ken.Infineon Technologies Austria AG 9500 Villach, Austria-AN2014-06, 2011。
 [6] UCC28070 数据表。
 作者简介：杨云霞，女，生于 1978-12，汉族，本科，讲师，研究方向：电子与计算机工程