

开关电源输入平波电路的设计与实现

李金, 栗梅

(中南大学信息科学与工程学院, 湖南 长沙 410083)

摘要: 介绍了基于二端口网络的开关电源输入平波电路设计的一般原理和方法。该方法通过对平波电路输入导纳和输出阻抗的设计, 能保证平波电路在对高频分量具有良好平波效果的同时, 尽可能减小对低频分量的衰减, 而且在平波的同时不影响电源的负荷能力。依据该原理设计的四阶直流线路平波器应用到了工程实际, 运行结果表明该原理具有良好的工程实践性。

关键词: 输入平波电路; 输入导纳; 输出阻抗

中图分类号: TM131.4

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2004)18-0054-03

0 引言

电子技术的迅速发展, 对电子仪器和设备提出了更高的要求。性能上, 更加安全可靠; 功能上, 不断增加; 使用上, 自动化程度越来越高; 体积上, 日趋小型化。这使得具有众多优点的开关电源在计算机、通信、航天、彩色电视等方面得到了日益广泛的应用。但是, 由于开关稳压电源中, 开关管工作在开关状态, 其交变电压和电流会通过电路的元器件产生很强的尖峰干扰和谐振干扰。这些干扰严重的污染了市电电网, 影响邻近电子仪器及设备的正常工作; 同时, 由于这一缺点, 使得开关电源无法应用于一些精密的电子仪器中, 因此, 尽量降低开关电源的电磁干扰, 提高其使用范围, 是从事开关电源设计必须考虑的问题^[1]。

本文作者应用了二端口网络的原理, 对开关电源中平波电路进行了分析, 给出了输入平波电路设计的一般方法及相关参数的计算方法。

1 基于二端口网络输入平波电路的设计

目前广泛使用的开关电源, 无论单管式、推挽式、半桥式、全桥式都可以归纳为如图 1 所示的形式^[2](以单相为例)。



图 1 开关电源的一般性原理图

Fig. 1 Universal diagram of switching power supply

由图 1 可以看出: 通过对输入平波电路的配置, 可以改变电路的等效阻抗, 进而达到预期的平波效

果。

1.1 输入平波电路双端口网络模型的建立

依据图 1 所示的一般性原理图, 可以建立如图 2 所示的输入平波电路双端口网络模型。

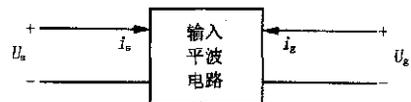


图 2 输入平波电路双端口网络模型

Fig. 2 Dual-port network model of input smoothing circuit

其混合参数方程如下:

$$\begin{cases} I_s = g_{11} U_s + g_{12} I_o \\ U_o = g_{21} U_s + g_{22} I_o \end{cases} \quad (1)$$

式中: g_{11} 为输入导纳; g_{22} 为输出阻抗; g_{12} 为反向电流增益; g_{21} 为正向电压增益。

由式(1)可以转化为如图 3 所示的等效电路图。

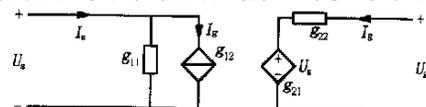


图 3 输入平波电路等效原理图

Fig. 3 Equivalent diagram of input smoothing circuit

1.2 输入平波电路设计的一般原理

在开关电源的设计中, 输入平波电路必须要满足以下几项要求:

要保证平波电路在平波的同时, 不影响电源的负荷能力;

对于输入的低频分量, 要求平波电路尽量不要造成衰减;

对于高频谐波分量, 平波电路要有良好的平波效果。

结合式(1)所示的混合参数方程及图 3 所示的

等效原理图,由要求 可以得出:平波电路的输入导纳和输出阻抗要尽可能小,也即 $g_{11} = g_{22} = 0$;

由要求 可以得出:对于低频分量,反向电流增益 g_{12} 和正向电压增益 g_{21} 设计值要尽量为 1,而输入导纳和输出阻抗要尽可能小,也即 $g_{12} = g_{21} = 1$, $g_{11} = g_{22} = 0$;

由要求 可以得出:对于高频分量, g_{11} , g_{12} , g_{21} , g_{22} 都要尽可能的小。

综合以上的分析结论,这就是输入平波电路设计的一般方法及平波效果的评判标准。

2 实例分析

LC 平波电路和四阶直流线路平波器是工程实际中常用的平波电路,下面我们就以以上的结论分析其平波效果。图 4 为 LC 平波电路。

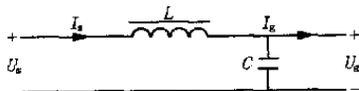


图 4 LC 平波电路原理图

Fig. 4 Diagram of LC smoothing circuit

其混合参数方程为:

$$\begin{cases} I_s = \frac{j\omega C}{1 - \omega^2 LC} U_s + \frac{1}{1 - \omega^2 LC} I_g \\ U_s = \frac{1}{1 - \omega^2 LC} U_g - \frac{j\omega L}{1 - \omega^2 LC} I_g \end{cases} \quad (2)$$

对于直流分量:

由于 f 趋向于 0,对应 $\omega = 2\pi f$ 趋向于 0;

显然 $g_{11} = g_{22} = 0$; $g_{12} = g_{21} = 1$

对于高频谐波分量:

$$\begin{aligned} |g_{11}| &= 1/(\omega L) & |g_{12}| &= 1/(\omega^2 LC) = |g_{21}| \\ |g_{22}| &= 1/(\omega C) \end{aligned}$$

考虑当 $\omega L > 10$ 时,显然有 $g_{11} = g_{12} = g_{21} = g_{22} = 0$,分析系统的输入导纳和输出阻抗如下:

要保证输入导纳 g_{11} 趋向于 0,必然使得 L 取值很大;要保证输出阻抗 g_{22} 趋向于 0,必然使得 C 取值同样很大,这给工程实际应用带来了局限性,这也就是 LC 平波电路的缺点。

以下再分析在工程实际中广泛应用的四阶直流线路平波器,其原理图如图 5 所示。

其混合参数方程如下:

$$\begin{cases} I_s = \frac{g}{1 + L_1 s g} U_s + \frac{1}{1 + L_1 s g} I_g \\ U_g = \frac{1}{1 + L_1 s g} U_s - \frac{L_1 s}{1 + L_1 s g} I_g \end{cases} \quad (3)$$

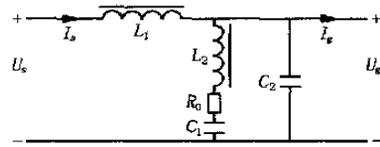


图 5 四阶直流线路平波器原理图

Fig. 5 Diagram of four-step DC line smoothing circuit

式中:

$$g = \frac{[(C_1 + C_2)s + R_0 C_1 C_2 s^2 + L_2 C_1 C_2 s^3]}{1 + R_0 C_1 s + L_2 C_1 s^2}$$

如果令: $z = \frac{1}{1 + L_1 s g}$,则可以求得相应的参数

如下: $g_{11} = gz$; $g_{12} = g_{21} = z$; $g_{22} = -L_1 s z$

下面我们来分析此平波器电压传递函数的幅频特性,此平波器的电压传递函数为:

$$G(s) = \frac{U_g}{U_s} \Big|_{F=4} = \frac{1 - L_1 s g}{1 + L_1 s g} \quad (4)$$

将 g 参数代入,应用 MATLAB 做出其对数幅频特性曲线如下所示:

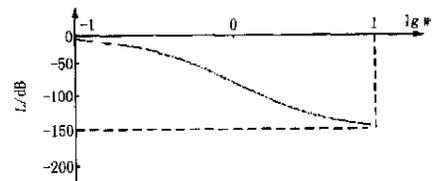


图 6 系统的幅频特性曲线

Fig. 6 Amplitude-frequency characteristic curve of the system

显然:在低频段输出电压的衰减较小,高频段的平波效果比较明显。

由以上分析可以看出:由于此电路器件参数的选择范围较宽,因此比较容易设计出满足设计要求且适用于工程实际的平波器.作者已将此电路应用到了为长沙某公司所设计的开关电源中。

设计要求为:

输入 1 000 V 的尖峰电压,最大产生 20 A 电流。

平波器输出电流从 0 ~ 25 A 变化时,造成 513 V 电压波动不超过 2%。

据此设计要求可得到设计允许值:

输入导纳: $20/1000 = 0.02$

输出阻抗: $(1 \pm 2\%) = 20.93 \sim 20.11$

作者最终选定的参数值为:

$$L_1 = 500 \mu\text{H}; \quad L_2 = 140 \mu\text{H}; \quad R_0 = 0.3 \quad ;$$

$$C_1 = 470 \mu\text{f}; \quad C_2 = 40 \mu\text{f}$$

将这组参数值代入式(3)得到:

$$g = 5; \quad z = 0.003;$$

$$g_{11} = gz = 0.015;$$

$$g_{12} = g_{21} = 0.003;$$

$$g_{22} = 0.2$$

加入此平滑器前后开关电源输出波形如下:

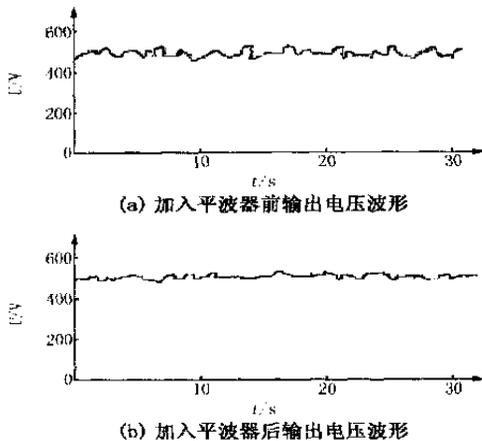


图7 加入平滑器前后电源输出电压波形

Fig. 7 Output voltage waveform of the power supply before and after the smoothing circuit adopted

显然,加入四阶直流线路平滑器后,输出电压纹波大大降低了。

3 结语

在开关电源日益广泛的应用中,由于开关管工作在开关状态而造成的电压波动限制了开关电源的使用范围,因此需要抑制由于电压波动而造成的谐波干扰。本文应用二端口网络原理,对开关电源输入平滑器的设计要求进行了分析总结,得出了三条设计原则。它适合于任何平滑器的设计。从该设计原则出发,也可以对现有的开关电源输入平滑器性能进行分析。本文给出了一个应用该原则设计出的四阶直流线路平滑器,并用在了工程实际,运行结果表明:该原理理论性与实践性均较好,具有通用性。

参考文献:

- [1] 吕仁清,蒋全兴(Lü Ren-qing, JIANG Quan-xing). 电磁兼容性结构设计手册(Structural Design Manual of EMC) [M]. 南京:东南大学出版社(Nanjing: East South University Press), 1998.
- [2] 赵良炳(ZHAO Liang-bing). 现代电力电子技术基础(Technical Foundation of Modern Power Electronics) [M]. 北京:清华大学出版社(Beijing: Tsinghua University Press), 1995.

收稿日期: 2004-01-07; 修回日期: 2004-05-17

作者简介:

李金(1979-),男,硕士生,从事电力系统自动化理论和应用的研究;

栗梅(1968-),女,副教授,从事电力系统自动化、交流调速、节能新技术等的研究。

Design & realization of input smoothing circuit in switching power supply

LI Jin, SU Mei

(College of Information Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: This paper presents the general principle and method of inputting smoothing circuit design in switching power supply, which is based on the theory of dual-port network. The scheme can ensure the excellent smoothing effect on the high-frequency components, lower the attenuation on the low-frequency components and the load capacity maintenance while running, with the designs of input conductance and output impedance. The four-step DC line smoothing circuit, which is designed according to this principle, has been applied to practice. And the operating result demonstrates its good engineering feasibility.

Key words: input smoothing circuit; input conductance; output impedance