

一种新的 LC 滤波器参数设计方法

黄丹阳

(四川大学 电气信息学院, 成都 610064)

摘要: 针对目前流行的 LC 滤波器参数设计方法的繁琐计算和大量推导, 从逆变器无功容量最小的设计角度的提出了一种基于大量经验的 LC 参数设计方法, 经过仿真验证, 证明公式可行。该公式计算简单, 并且计算出的 LC 参数能达到良好的滤波效果, 适合任意输出频率的单相电压型 PWM 逆变器 LC 滤波器设计。

关键词: LC 滤波器; 脉宽调制; 逆变器; 无功容量

A New Method to Design LC Filter Parameters

HUANG Dan-yang

(College of Electrical Engineering and Information, Sichuan University, Chengdu 610064, China)

Abstract: Aiming at the current popular but tedious calculations and a large number of derivation LC filter parameters design method, the paper proposes a LC parameter design method based on extensive experience from minimum reactive power aspect. The simulation has proved the formula workable. The formula is simple and the calculated LC filter parameters can achieve good filtration results. The method is suitable for designing any output frequency of the single-phase voltage-type PWM inverter LC filter.

Key words: LC filter, pulse-width module (PWM), inverter, reactive power

0 引言

LC 滤波器是一种历史最久、应用最广的滤波器, 它结构简单、成本低廉、具有较高的效率和可靠性, 被广泛用于谐波处理中, 也是设计其他类型滤波器的基础。

它的设计方法大致可以分为两类: 一是经典的。从传输线理论出发得出的对象参数设计法, 按此法设计的滤波器有定 K 式, m 导出式等滤波器。该方法是设计时假设源内阻和负载均为对象阻抗, 而对对象阻抗并不是常量, 它是随频率变化而变化的。但实际工作中, 两终端电阻为常数, 故难以达到预期的特性, 此外, 其衰减特性的通带边缘不够陡峭, 常不能满足某些特殊的要求。另一类是工作参数设计法, 它是根据给定的传输特性要求, 按滤波器接在信号源和负载之间能量的实际传输过程, 用现代网络综合的方法设计滤波器。按此法设计的滤波器有巴特沃斯型, 切比雪夫型, 椭圆函数型滤波器等。这个方法的优点是, 设计出来的滤波器特性很好, 节省元件, 且又符合实际情况, 能较好地达到预期的特性。其缺点是, 计算复杂、繁琐, 不便于一般设计人员掌握^[1]。

本文回避上述方法的繁琐计算, 通过对目前普遍使用的曲线法和无功容量法的分析, 提出以有效参数对 LC 滤波器参数影响的大小, 根据大量仿真实验, 得出一个简单的经验公式, 该种设计方法只用给定相关参数, 便能设计出性能良好的 LC 滤波器。

1 LC 滤波器参数设计方法

在要求设计的 LC 滤波器中, 通常有指定的电感和电容标准, 比如最低成本、尺寸大小和功率损耗等等。设计需要满足以下几个条件: (1) 输出电压的谐波含量小; (2) 滤波参数和体积小; (3) 滤波器的阻频特性小; (4) 闭环系统鲁棒性好; (5) 滤波系统消耗的功率小^[2]。本文以无功容量的最低标准为基础, 间接减少

了滤波器的上述不利因子以及实现其他要求特性。图1为单相PWM逆变器拓扑图。

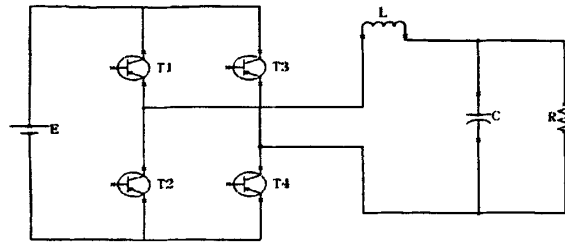


图1 单相PWM逆变器

Fig.1 The single-phase PWM inverter

当加入负载R时，滤波器的传递函数可以表示为：

$$G(s) = \frac{U_o(s)}{U_i(s)} = \frac{1}{\frac{1}{\omega_L^2} s^2 + \frac{2\xi}{\omega_L} s + 1}$$

式中 ω_L 为谐振角频率； $\omega_L = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ ； ξ 为阻尼系数； $\xi = \frac{1}{2R} \sqrt{\frac{L}{C}}$ 。

LC滤波器的无功容量 P_r 表达如下^[3]：

$$P_r = \omega_r L (\bar{I}_s^2 + \bar{I}_{s,av}^2) + \omega_r C (\bar{V}_o^2 + \bar{V}_{o,av}^2) \quad (1)$$

式中 \bar{I}_s 为电感电流有效值； $\bar{I}_{s,av}$ 为电感电流谐波有效值之和； \bar{V} 为电容电压有效值； $\bar{V}_{o,av}$ 为电容电压谐波有效值之和。

由于谐波分量远小于基波分量，式(1)可近似简化为：

$$P_r \approx \omega_r L \bar{I}_s^2 + \omega_r C \bar{V}_o^2 \quad (2)$$

通常取10倍截止频率为载波频率： $10f_L = f_s$

$$\text{则有： } L = \frac{1}{\omega_L^2 C} = \frac{100}{\omega_s^2 C} \quad (3)$$

要使无功容量 P_r 最小，那么 P_r 对 C 的偏导数等于零。于是有：

$$P_r = \omega_r \frac{100}{\omega_s^2 C} \bar{I}_s^2 + \omega_r C \bar{V}_o^2$$

$$\frac{\partial P_r}{\partial C} = -\omega_r \frac{100}{\omega_s^2 C^2} \bar{I}_s^2 + \omega_r \bar{V}_o^2 = 0$$

$$\frac{100}{\omega_s^2 C^2} \bar{I}_s^2 = \bar{V}_o^2$$

$$\text{所以： } C = \frac{10P}{\omega_s U^2} \quad (4)$$

$$\text{由式(3)可得： } L = \frac{100}{\omega_s^2 C} \quad (5)$$

式(4-5)中 P 为负载额定功率； $\omega_s = 2\pi f_s$ 其中 f_s 为载波频率； U 为额定输出电压有效值。

2 实例与仿真

以一个太阳能发电装置为实例，其容量 P 为 6kW，输出电压 U 为 300V，输出基波频率 f 为 50Hz，载波频率 f_s 为 25kHz，以此设计 LC 滤波器参数。

计算方法如下，直接将参数带入公式 (4)、(5)，有：

$$C = \frac{10P}{\omega_s U^2} = 4.25(\mu\text{F}) ;$$

$$L = \frac{100}{\omega_s^2 C} = 954.58(\mu\text{H})$$

因为电感电容之积恒定时, 电感越小, 逆变电源的输出阻抗越小, 越不容易出现过调制, 逆变电源对非线性负载的适应性越好。结合实际情况, 为了方便实际硬件的开发, 选取已有规格的电感电容大小, $C = 4.7\mu\text{F}$, $L = 860\mu\text{H}$ 。Simulink 仿真图如图 2 所示。通过示波器可以观察到逆变前的电压波形, 如图 3 所示。

利用 powergui 模块的 FFT 分析工具, 可以看到总谐波失真 THD 为 1.17%, 所以输出信号比输入信号多出的额外谐波成分在一个理想的范围内, 逆变后的波形达到了预期效果, 如图 4 和图 5 所示。

逆变后的电压波形如图 4 所示, 可以看到, 逆变后的正弦波形比较平滑, 几乎没有纹波出现。

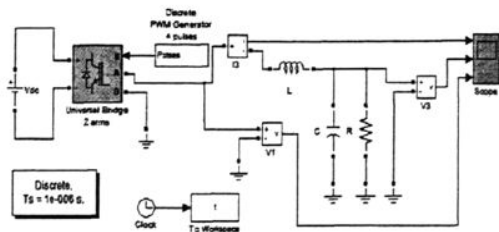


图 2 LC 逆变器仿真图

Fig.2 LC inverter simulation diagram

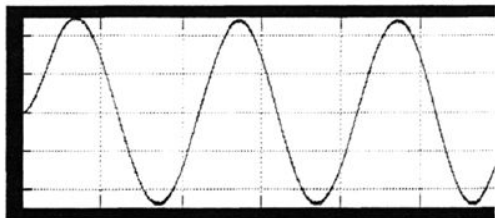


图 4 逆变后的电压波形

Fig.4 Voltage waveform after inversion

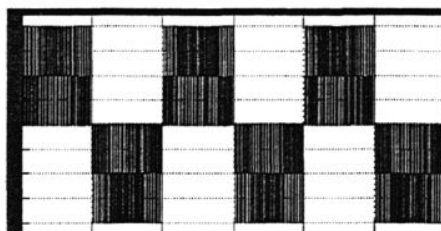


图 3 逆变前的电压波形

Fig.3 Voltage waveform before inversion

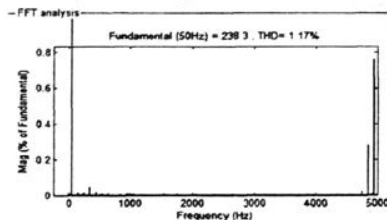


图 5 FFT 分析图谱

Fig.5 FFT analysis diagram

3 结束语

本文通过对 LC 滤波器无功容量的一系列推导运算, 得出了一组计算电感电容参数的简便公式。该组公式计算简单, 计算结果无需进行最后修正便可以得到平滑的并且谐波含量少的电压波形, 仿真结果验证了该方法的可靠性和实用性, 该计算方法可以广泛用于单相电压型 PWM 逆变器 LC 滤波器的设计, 大大简化了 LC 滤波器参数的计算。

参考文献

- [1] 森荣二著.LC 滤波器设计与制作[M]. 5 版.北京: 科学出版社,2006: 3-4.
- [2] 俞杨威,金天均,谢文涛,等. 基于 PWM 逆变器 LC 滤波器[J].机电工程,2007,24(5):50-52.
- [3] Dahono P A, Purwadi A, Qamaruzzaman. An LC filter design method for single-phase PWM inverters[C]//Power Electronics and Drive Systems. Proceedings of 1995 International Conference on Feb 21-24.1995:571-576.

作者简介:

黄丹阳 (1988-), 男, 硕士研究生, 研究领域为控制理论与控制工程, Email: danyanguang@yahoo.com.cn

收稿日期: 2011-06-13

(田春雨 编发)

一种新的LC滤波器参数设计方法

作者: [黄丹阳](#)

作者单位: [四川大学电气信息学院, 成都 610064](#)

本文读者也读过(4条)

1. [刘欣博, 周元钧](#) [具有双级LC滤波器的恒功率负载系统在大扰动下的稳定性](#)[期刊论文]-[中国电机工程学报](#) 2011, 31(27)
2. [贾涛](#) [LC滤波器设计之我见](#)[期刊论文]-[新课程学习: 综合](#)2011(11)
3. [王存平, 尹项根, 文明浩, 刘健, 熊卿, 张斌](#) [配电网STATCOM输出滤波器结构和参数的设计](#)[会议论文]-2010
4. [伍家驹, 王祖安, 刘斌, 况清龙, 杉本英彦](#) [单相不控整流器直流侧LC滤波器的四维可视化设计](#)[期刊论文]-[中国电机工程学报](#)2011, 31(36)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Conference_7609541.aspx