

EMI 滤波器软件自动化设计

陈捷¹ 区健昌²

(1. 成都必控电磁技术研究所 2. 北京理工大学)

摘要 EMI 滤波器应用极为广泛, 而如何设计和选用 EMI 滤波器是一个十分复杂的课题, 本文作者所设计的 EMI 滤波器软件, 在 10kHz-30MHz 频域, 可给予滤波器工程师在设计和生产实践中提供指导依据, 因而具有很大的工程应用价值。

关键词: EMI 滤波器; 插入损耗; 软件设计

The CAD of EMI Filter

Chen jie¹ Ou jianchang²

(1.BIKON institute of EM technology 2.Beijian institute of technology)

Abstract EMI filter can be used abroad, and how to choose and design the filter is a complex problem. The EMI filter designed by the author of this paper, in the 10kHz-30MHz will gives the guidance for the filter engineers while designing and producing the filters. So it takes on a great meaning of engineering application.

Key Words: EMI Filter; Insertion Loss; Software Design

1 引言

随着设备系统集成度和工作频率的不断提高, 电磁干扰的抑制是保证设备和系统正常工作的先决条件。EMI 滤波器可有效抑制来自电网的传导干扰并防止设备内部对外界产生有害的电磁骚扰, 应用于航天、通讯、军事等社会生产生活中的方方面面。国内外有不少生产 EMI 滤波器的厂家, 比较著名的有瑞士 Schaffner、德国 EPCOS 和美国 corcom 等。而工程师在实际使用 EMI 滤波器的过程中, 会遇到种种十分棘手的问题, 如果选用市面现有的 EMI 滤波器, 其插入损耗性能大都在 50Ω 条件下测量的, 未必能满足用户在具体过程中所遇到的实际问题, 而如果根据需要自行制作滤波器, 由于缺少必要的理论指导和设计工具, 往往是依靠工程师个人经验来进行, 不仅耗时耗力, 所制造的滤波器的实际性能也往往不尽如人意。本文作者所设计的一款 EMI 滤波器设计软件, 算法根据实际滤波器的使用情况得出, 并充分考虑了工程师在设计滤波器时遇到的各种问题, 可为一线工程师根据需要, 为量身定做滤波器提供有效指导, 也可为 EMI 滤波器生产厂家

提供计算机辅助设计 (CAD)。

2 软件设计与实现

本软件是在.NET 框架下应用 C# 语言设计, 软件具备如下特点:

(1) 算法结构设计是以成熟稳定的实际滤波器为模型, 符合客观实际。

(2) 计算结果准确, 软件计算结果与实际情况的最大误差可控制在 5% 左右。

(3) 功能丰富, 既可根据超标频率点和所需插入损耗值计算滤波器参数, 也可根据所输入参数绘制插入损耗曲线。

(4) 涵盖种类齐全, 即可设计一般性能滤波器又可设计高性能滤波器。

(5) 软件采用模块化设计, 结构灵活, 体系清晰, 可根据工程师具体需要做任意改动和连接。

(6) 操作简单, 界面整洁, 使用十分方便。

本款软件体系架构如图 1 所示。

软件主要界面如图 2、图 3、图 4 所示。

软件的数学模型为标准滤波器结构, 如图 5、图 6 所示。

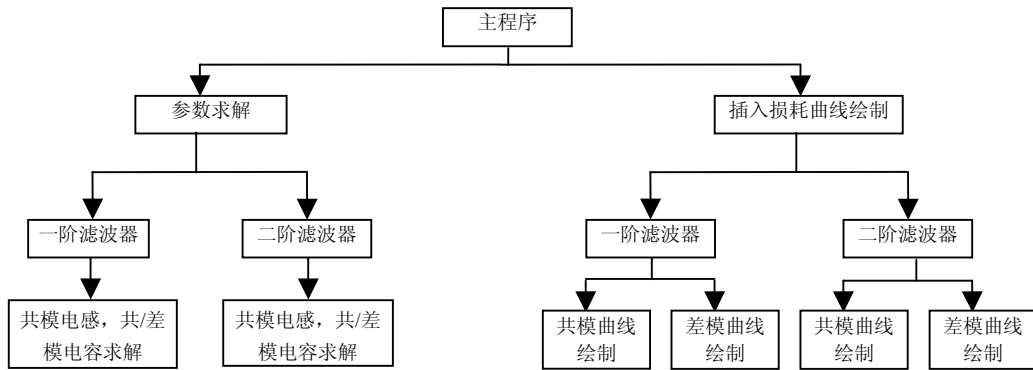


图1 软件体系结构



图2 设计软件主界面

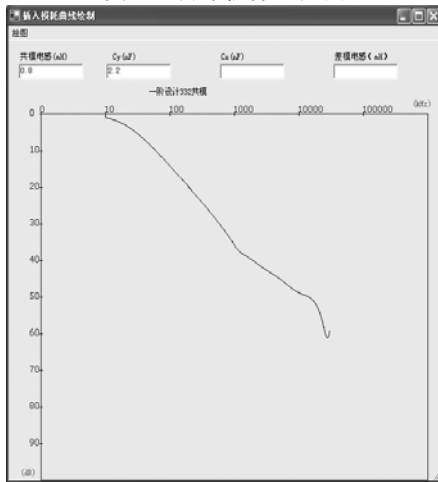


图3 插入损耗曲线绘制界面



图4 滤波器参数求解结果界面

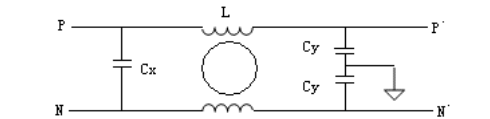


图5 一阶滤波器电路结构

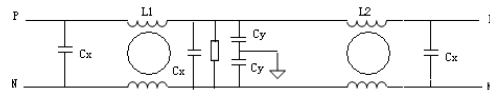


图6 二阶滤波器电路结构

滤波器插入损耗计算公式为：

$$IL' = IL - 20 \lg M(\omega)$$

其中： IL 为滤波器插入损耗理论计算公式，根据电路 A 参数可以计算得出。

式中 R_s 为源端阻抗， R_L 为负载端阻抗。 $M(\omega)$ 为切比雪夫修正系数，由于在高频时，因理论模型没有考虑分布参数和磁导率频响等因素，所以与实际电路的插入损耗有较大差别，因此必须进行修正。同理：其差模插入损耗公式^[6]为：

$$IL = 10 \lg \left\{ \left[R_L \left(1 - \frac{1}{2} \omega^2 L_e C_y \right) + R_s \left(1 - \omega^2 L_e C_{x1} \right) \right]^2 + \left[\omega L_e + \omega R_s R_L \left(C_{x1} + \frac{1}{2} C_y - \frac{1}{2} \omega^2 L_e C_y C_{x1} \right) \right]^2 \right\} - 20 \lg (R_s + R_L)$$

其中 L_e 为由于共模电感两个绕组不平衡所造成的剩余差模电感，一般取值为 $L/100$ 。

3 软件计算结果验证

3.1 滤波器参数求解结果验证

作者输入 Schaffner 公司 FN332 和 FN2350 的插入损耗值，将软件计算结果与该产品厂家提供的参数进行对比，在这里假设共模电容为一确定值，并假设二阶高性能滤波器的两个共模电感和三个差模电容大小相同。

	实际参数	软件计算参数	相对误差
共模电感 (mH)	0.8	0.81668	2.1%
	2	2.04579	2.3%
	0.52	0.54102	4.51%
差模电容 (nF)	15	15.6874	4.58%
	47	48.6204	3.45%
	100	105.0294	5.03%

由此表可以看出, 软件计算结果与实际参数的误差可控制在 5% 左右。

3.2 插入损耗曲线绘制验证

我们以 Schaffner 公司 FN332 滤波器(标准性能)和 FN2350 滤波器(高性能)为例, 输入产品参数, 将用该软件所画插入损耗曲线与厂家所提供插入损耗曲线作对比。

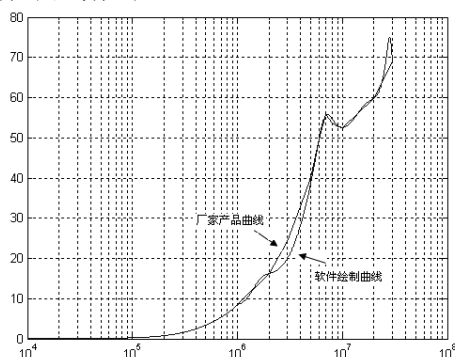


图 7 一阶共模插入损耗曲线对比图

由此可以看出, 两条曲线基本相吻合。

4 软件适用性说明

4.1 滤波频率适用性

本款软件的实现是以 Schaffner 公司滤波器为实际模型, 考虑到国内现有滤波器的主要应用频段, 输入和计算频率范围在 10kHz 到 30MHz 之间。输入频率点以 kHz 为单位(例如 100kHz 则输入 100)。

4.2 滤波器结构适用性

目前本款软件是以 Schaffner 公司的 FN332 及 FN2350 两个型号为一阶和二阶滤波器的设计模型, 由于不同的结构会导致不同的分布参数, 因此工程师在应用本软件指导生产实践时, 所设计的滤波器必须尽量接近该典型的规范结构, 如果滤波器的结构差过大, 有可能会造成比较大的设计误差。

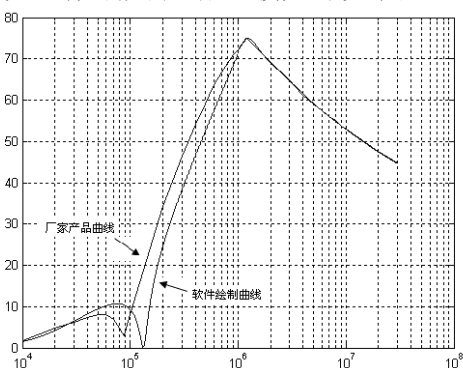


图 8 一阶差模插入损耗曲线对比图

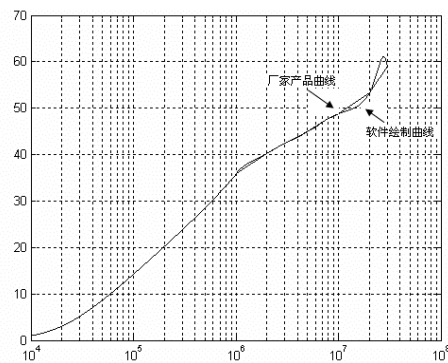


图 9 二阶共模插入损耗曲线对比图

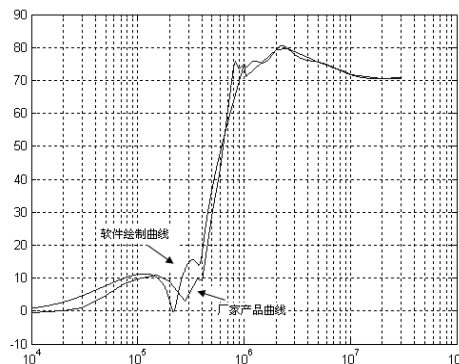


图 10 二阶差模插入损耗曲线对比图

4.3 滤波器参数适用性

在大于 1MHz 情况下, 滤波器的电容电感会存在分布参数, 而该分布参数会随着电容电感值的不同而有很大的差异, 小电感虽然低频性能一般, 但高频的分布参数较小, 所以高频性能下降较慢, 而大电感虽然低频性能优异, 但是高频时性能下降很快, 其插损甚至低于较小电感。

由于本款软件是采用理论公式拟合实际插入损耗曲线的方法来评价分布参数的影响, 因此选择合适产品的实际插入损耗曲线就非常重要, 但目前尚未找到大电感条件下的合适产品的实际插入损耗曲线, 因此在共模电感 $L > 10\text{mH}$ 时, 计算结果会有比较大的误差。

4.4 源负载阻抗的动态变化

标准滤波器的插入损耗曲线是在 $50\Omega / 50\Omega$ 系统测试得出的, 而在实际应用中时源端和负载端的阻抗是动态变化的, 而根据文献[3]所提出的最大阻抗失配下的最小插入损耗计算方法, 阻抗的动态变化时的计算值略低于标准配置系统的测量值, 因此实际应用中的插损应低于软件的计算值。

5 结论

本款软件是鉴于目前 EMI 滤波器规范设计呼声很高

(下转第 68 页)

(3) 当发电机的输出向负载供电时, 大幅变化的电压很难满足负载的要求。如通过逆变器将发电机输出直流电转换成交流电, 突增负载时, 输出电压有很大的瞬时跌落, 这样的变化通常会大大超出电力变换装置输入电压允许的变化范围, 表现在突增负载、电压瞬时跌落瞬间, DC/AC 变换器自保护而停止工作, 无法给交流负载供电。因此必须开发专用逆变器或对 PEMFC 发电机输出电压进行补偿, 以适应氢能发电机的输出特性。

6 结论

在实验的基础上, 分析了氢能发电机的电气特性。并将静态输出特性得到的数据进行了拟合, 得到了输出电压和输出电流的一阶函数关系, 为研究氢能发电机的等效模型奠定了实验基础。

参考文献

[1] 田玉冬, 朱新坚, 曹广益. 质子交换膜燃料电池 (PEMFC) 移动电源技术. 移动电源与车辆. 2004, (1)
 [2] 黄倬等. 质子交换膜燃料电池的研究开发与应用[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2000.5
 [3] 雷永泉. 新能源材料[M]. 天津: 天津大学出版社, 2000.12:161~218
 [4] 衣宝廉. 燃料电池[M]. 大连: 中科院大连化学物理研究所燃料电池工程中心. 2000.3
 [5] 衣宝廉. 燃料电池的原理、技术状态与展望[J]. 电池工业. 2003, 8(1): 16-22

[6] 阿布里提·阿布都拉, 小宫山宏. 新型高效率发电技术-燃料电池的发展现状和开发动向[J]. 电工电能新技术. 2000.2:35-40
 [7] M.A.Laughton. Fuel Cells[J]. POWER ENGINEERING JOURNAL IEE. 2002: 37-47
 [8] P.Dondi et al. Network integration of distributed power generation[J]. Power Sources 2002, 106:1-9
 [9] E.M.Leal, J.L.Silveira. Study of fuel cell co-generation systems applied to a dairy industry[J]. Power Sources 2002, 106:102-108
 [10] 汪继强. 离子交换膜燃料电池技术的发展与应用前景[J]. 电源技术. 1995: 19-38
 [11] 张化民等. 质子交换膜燃料电池的发展现状[J]. 当代化工. 沈阳: 2001, 3: 7-11
 [12] 孙常东, 王金全. 质子交换膜 PEMFC 电堆电压特性的测试与分析.[J] 青岛大学学报(工程技术版) 2003, 18(3): 66-68
 [13] 郭航. 汽车用质子交换膜燃料电池性能实验研究.[J] 中国公路学报. 2001, 14(4): 103-105

作者简介

王金全 (1963-), 男, 四川眉山人, 教授, 硕士研究生导师, 从事新电源技术的研究。

储颖 (1983-), 女, 江苏泰州人, 硕士研究生, 从事新电源技术的研究。

(上接第 39 页)

的情况下应运而生, 充分考虑到了实际应用中的种种问题, 对滤波器生产和使用一线工程师具有很大的指导意义。而由于目前滤波器理论发展水平和客观条件复杂性的限制, 本款软件的涵盖范围和完备性尚有一定不足, 相信随着研究会随着实践的不断检验而不断改善, 从而填补国内的此项空白。

参考文献

[1] 何渝. 计算机常用数值算法与程序: C++版人民邮电出版社, 2003
 [2] 巴纳比. NET 分布式编程: C#篇. 清华大学出版

社, 2004

[3] 甘明刚. EMI 电源滤波器的共模插入损耗在失配状态的优化计算. 北京邮电大学学报. 2006
 [4] 夏弗纳单相滤波器产品目录
 [5] 陈永春. MATLAB M 语言高级编程清华大学出版社, 2004
 [6] 区健昌. 电子设备的电磁兼容性设计. 电子工业出版社, 2003
 [7] 电源 EMI 滤波器的设计、特性及其选取原则 雷新. 电子产品可靠性与环境试验. 2002
 [8] 沙占友. EMI 滤波器的设计原理通讯与电视. 2001