

## 基于 ADS 的微带线带通滤波器的设计与优化

杨振国,王 勇,樊高有,陈文昌  
(四川大学 电子信息学院,四川 成都 610065)

**摘 要:** 利用 ADS(Advanced Design System) 设计平行耦合微带线带通滤波器,为了缩短设计周期,提高微带线带通滤波器的性能,采用 ADS 中的无源电路设计向导工具,设计出了一种中心频率为 3.0 GHz、带宽为 60 MHz 的平行耦合微带线带通滤波器。参数优化后进行电路版图仿真。仿真结果表明,该设计设计周期较短、方法切实可行,设计出的带通滤波器满足各项指标要求。

**关键词:** ADS; 微带线; 带通滤波器; 版图仿真

中图分类号: TP713

文献标识码: A

DOI: 10.19358/j.issn.1674-7720.2016.17.026

引用格式: 杨振国,王勇,樊高有,等. 基于 ADS 的微带线带通滤波器的设计与优化[J]. 微型机与应用, 2016, 35(17): 87-90, 96.

## Design and optimization of microstrip band-pass filter based on ADS

Yang Zhenguo, Wang Yong, Fan Gaoyou, Chen Wenchang  
(School of Electronics and Information Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

**Abstract:** This paper introduces the design of parallel coupled microstrip band-pass filter based on ADS(Advanced Design System). In order to shorten the design cycle and improve the performance, a microstrip band-pass filter is designed which has a center frequency of 3.0 GHz and a bandwidth of 60 MHz with the passive circuit design guide based on ADS. The layout of circuit is simulated after parameter optimization, the simulation results show that the design cycle is short and the method is feasible, the indicators of the designed band-pass filter can meet the requirements.

**Key words:** ADS (Advanced Design System); microstrip; band-pass filter; layout simulation

## 0 引言

滤波器在无线通信系统中至关重要,可以用来分开和组合不同的频率,起到频带和信道选择的作用,并且能滤除谐波,抑制杂散。在微波系统中,滤波器性能的好坏对整个电路的设计起着举足轻重的作用<sup>[1]</sup>。随着通信技术的发展,由电感电容等集总参数总元件构成的滤波器已经不能满足高频段的滤波器设计要求,而由分布参数元件构成的微带线滤波器不仅能满足高频段设计的要求<sup>[2]</sup>,而且在微波集成电路中还具有重量轻、小型化、易于集成等特点。

随着市场需求的不断提升,射频电路的应用频率变得越来越高,为了满足高速率的信号传输,电路的各项参数要求越来越严,产品的设计周期却越来越短。传统的微带线滤波器设计方法是利用经验公式查表求出微带线的相关参数,由于这个过程很繁琐,计算量相当大,而且数据不精确很容易出错,因此本文使用美国安捷伦(Agilent)公司推出的 ADS 软件,它能从头到尾完成整个信号通路的模拟和原理图到 PCB 版图的各级仿真。利用 ADS 软件中无源电路设计向导工具能够快速、精确地设计出高性能的平行耦合微带线带通滤波器<sup>[3]</sup>。

## 1 传输线理论

传输线理论是从分布参数电路理论发展而来的,它是《微型机与应用》2016 年第 35 卷第 17 期

用来引导传输电磁能量和信息的装置。传输线既可以作为传输媒介,也可以用来制作各种类型的器件。传输线又叫作长线,由于它具有在空间某个方向上其长度与其内部电压、电流的波长相比拟的特性,所以必须要考虑其参数分布性的特征。微波传输线是一种分布参数电路,线上的电压和电流是时间和空间位置的二元函数,它们沿线的变化规律可以用传输线方程来描述<sup>[4]</sup>。

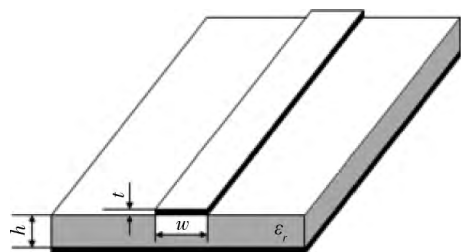
微带线是微波传输线的重要组成部分之一,其几何结构和场结构分别如图 1(a)、(b)所示,它由一个宽度为  $w$ 、厚度为  $t$  的中心导带和金属接地板组成,导带和接地板之间填充介电常数为  $\epsilon_r$  的均匀介质。微带线的几何结构并不复杂,但是它的电场磁场却相当复杂,在微带线上传输的并不是严格的 TEM 波,而是准 TEM 波。由于介质基片的存在,场的能量主要集中在基片区域,其场分布与 TEM 波非常接近,故称为准 TEM 波<sup>[5]</sup>。

平行耦合微带线滤波器的结构如图 2 所示,其中的每一段线都是一个半波长谐振器,每段线之间的间隙是耦合组件,这段间隙的谐振边缘可以实现宽带耦合<sup>[6]</sup>。

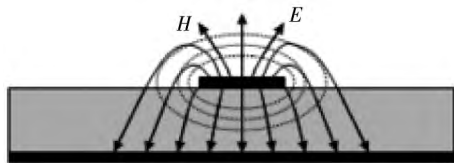
## 2 设计平行耦合微带线带通滤波器

带通滤波器的设计是以低通滤波器为原型变化得到的,由低通滤波器向带通滤波器频率转换的公式如式(1):

欢迎网上投稿 [www.pcachina.com](http://www.pcachina.com) 87



(a) 微带线几何结构



(b) 微带线的场结构

图1 微带线结构

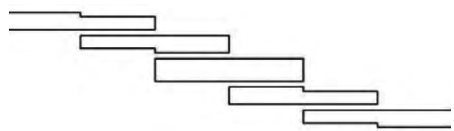


图2 平行耦合微带线滤波器的结构图

$$\Omega = \frac{w'}{w_1'} = \frac{f_0}{BW} \left[ \frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \right] \quad (1)$$

根据求出的归一化频率点  $\Omega$  和滤波器阻带衰减指标确定带通滤波器的级数,参考阻带衰减和带内波纹指标,采用不同类型的设计方法查出元件参数,最后求出奇模特性阻抗和偶模特性阻抗值,其计算公式如式(2)所示:

$$\begin{aligned} Z_{o|i+1} &= Z_0 [1 - Z_0 J_{i+1} + (Z_0 J_{i+1})^2] \\ Z_{e|i+1} &= Z_0 [1 + Z_0 J_{i+1} + (Z_0 J_{i+1})^2] \end{aligned} \quad (2)$$

其中:

$$\begin{aligned} J_{0,1} &= \frac{1}{Z_0} \sqrt{\frac{\pi BW}{2g_0 g_1}} \\ J_{i,i+1} &= \frac{1}{Z_0} \sqrt{\frac{\pi BW}{2g_i g_{i+1}}} \\ J_{n,n+1} &= \frac{1}{Z_0} \sqrt{\frac{\pi BW}{2g_n g_{n+1}}} \end{aligned}$$

最后可得出微带线的宽度  $w$ 、长度  $l$ 、间距  $s$ 。本文直接采用的 ADS 中的无源电路设计向导工具是基于这些理论知识建立起来的,这种方法能直接给出微带线带通滤波器的模型,可以确定滤波器微带线的级数和尺寸,简单高效。

## 2.1 滤波器的指标

本文设计出的微带线带通滤波器的指标为:中心频率为 3.0 GHz,带宽为 60 MHz,带内衰减小于 3 dB,端口反射系数小于 -15 dB,在频率为 2.85 GHz 和 3.15 GHz 时阻带衰减大于 35 dB。无论是在原理图设计过程中还是在最后的 PCB 版图仿真中都要尽量使得各项参数都达到设计的最低要求。在设计过程中,要考虑到微带线的宽度  $w$ 、缝隙  $s$  和长度  $l$  等尺寸都会受到设备制造精度的影响。当

微带线的宽度  $w$  的制作精度只有 1 mil 时,制作出来的微带线宽度  $w$  与仿真设计的微带线宽度误差有可能达到 0.5 mil,那么在实际电路中微带线宽度  $w$  的变化就有可能影响到滤波器的性能,此时需要在原理图仿真和版图仿真中反复优化和微调微带线宽度  $w$ 、长度  $l$ 、间距  $s$ ,当尺寸发生微小变化后,观察滤波器的参数是否稳定。这样设计出来的微带线带通滤波器才稳定可靠,才能投入实际使用。

## 2.2 滤波器模型子电路的生成

传统的微带线滤波器的设计方法要计算查表得到滤波器的级数  $N$ ,然后确定标准的低通滤波器的参数,计算传输线奇模、偶模特性阻抗,最后利用 ADS 工具计算出滤波器微带线的几何尺寸<sup>[7]</sup>。可见传统的微带线滤波器设计方法是利用经验公式查表等方法求出微带线的相关参数的,这个过程很繁琐,计算量相当大,而且数据不精确很容易出错。本文使用 ADS 中无源电路设计向导工具就能够解决这些问题,无源电路设计向导工具可以先确定带通滤波器模型的大致方向,生成带通滤波器的子电路,再进行不断的优化。

在“Passive Circuit Design Guide”面板中选择带通滤波器模型“Microstrip Coupled-Line Filter”,在原理图窗口中会出现一个微带线滤波器器件,在所出现的窗口中设置好带通滤波器的各种参数。参数设置好以后点击设计向导窗口的设计按钮,初步仿真结果如图 3 所示。系统在原理图中会自动生成一个带通滤波器的子电路,滤波器的级数、微带线的宽度  $w$ 、缝隙  $s$  和长度  $l$  都已经按照设置好的参数计算出来了,如图 4 所示。

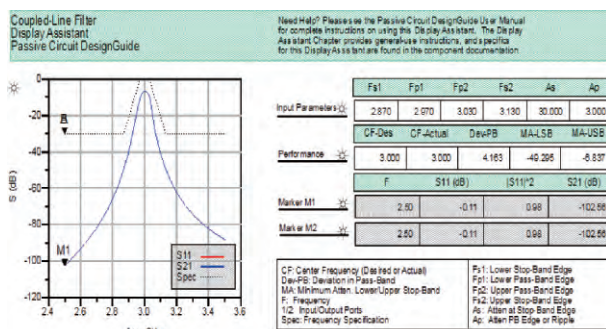


图3 无源电路设计向导仿真结果

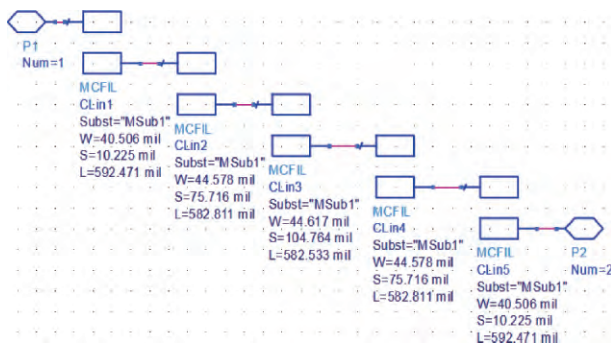


图4 滤波器模型内部的子电路



由图3可见,仿真结果与所要求设计的参数相差比较大,这是因为无源电路设计向导工具只能生成一个大致方向的微带线带通滤波器模型,在这个模型被搭建后,在后面的步骤中可以根据要求进行反复仿真和优化以达到设计目的。

从滤波器模型生成的子电路图中可看到滤波器的级数为5,各级的微带线的宽度 $w$ 、缝隙 $s$ 和长度 $l$ 都已经被计算出来,相对于传统的滤波器设计方法而言,这样的设计方法周期被大大缩短,而且计算出的数据精确,不存在有手工计算错误的可能。

## 2.3 原理图仿真和优化

将仿真器、微带线参数控件、优化参量控件等按原理图放置并进行连接,连接完成后的原理图如图5所示。本文选择的是罗杰斯 R04003C 高频线路板材料,这种材料是由玻璃纤维增强的碳氢化合物/陶瓷基材(非PTFE)构成<sup>[8]</sup>,具备高频性能和线路板生产成本低、损耗低等特点,它还具备很多普通电路板材料不具备的优点,比如介电常数、温度系数比较低。选定的电路板材料参数如下:微带线基板的相对介电常数 $\epsilon_r$ 为3.55,损耗正切值 $\tan\delta$ 为0.0027,微带线基板的厚度 $H$ 为0.508 mm,微带线的磁导率 $\mu_r$ 为1。

设置好介质参数和扫描参数后进行不断的仿真和优化,优化后的S11和S21参数如图6(a)、(b)所示。

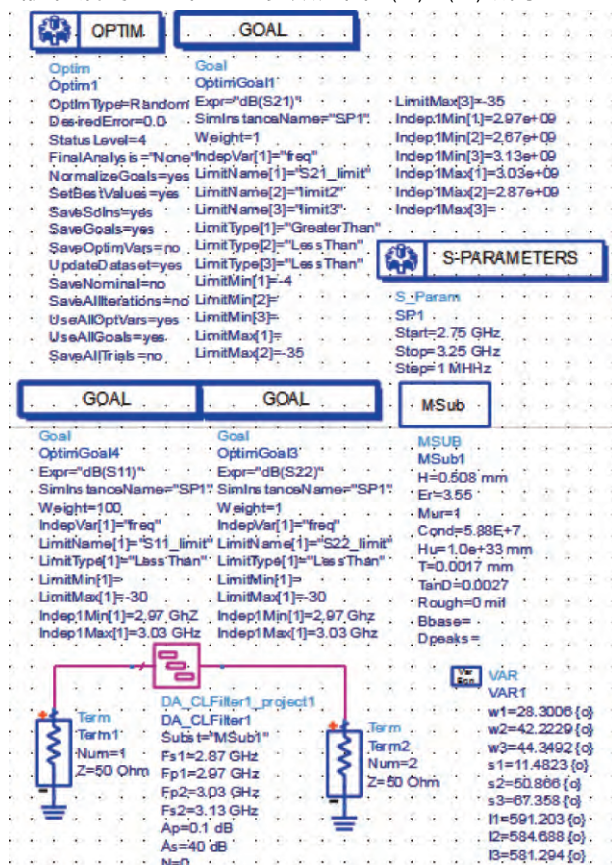


图5 完成后的原理图

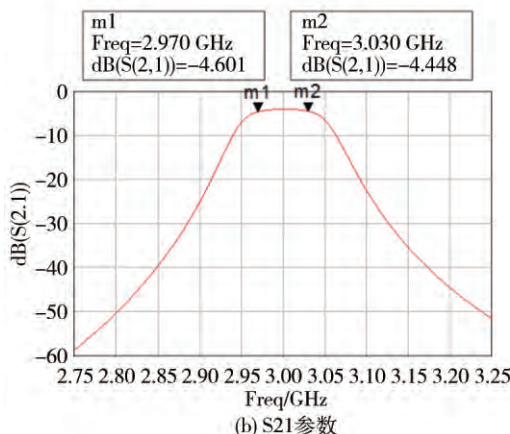
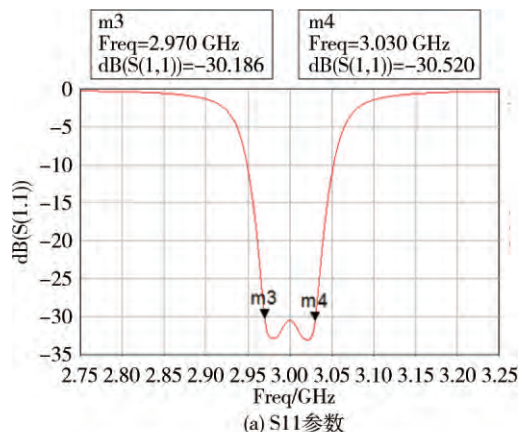


图6 原理图仿真结果

事实上,原理图的仿真结果是经过反复优化而得出的一个比较理想的结果,从仿真结果可以看出,在2.97~3.03 GHz内通带传输衰减小于5 dB,端口反射系数小于-30 dB,频率为2.85 GHz和3.15 GHz时阻带衰减大于35 dB。原理图仿真结果基本满足指标要求,在后续的版图仿真中将会改进通带传输衰减参数。

## 2.4 PCB版图仿真和优化

将已经优化好的滤波器电路原理图生成PCB版图,如图7所示。设置好需要的微带线和基板的参数,添加好滤波器的输入和输出端的两个端口,完成仿真参数的设置后进行仿真。在PCB版图仿真中,由于微带线处于高频状态下,所以导致整个电路会产生边缘效应和空间能量辐射<sup>[9]</sup>,导致传输损耗比较大,仿真结果没有原理图中的结果理想。经过反复调整和优化后仿真结果如图8(a)、(b)所示。

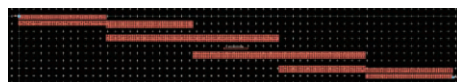


图7 生成PCB版图

由版图仿真结果可见,在2.97~3.03 GHz内通带传输衰减小于3 dB,端口反射系数小于-15 dB,频率为2.85 GHz和3.15 GHz时阻带衰减大于35 dB。版图仿真的结果满足设计要求,可以看到版图仿真结果中端口反射

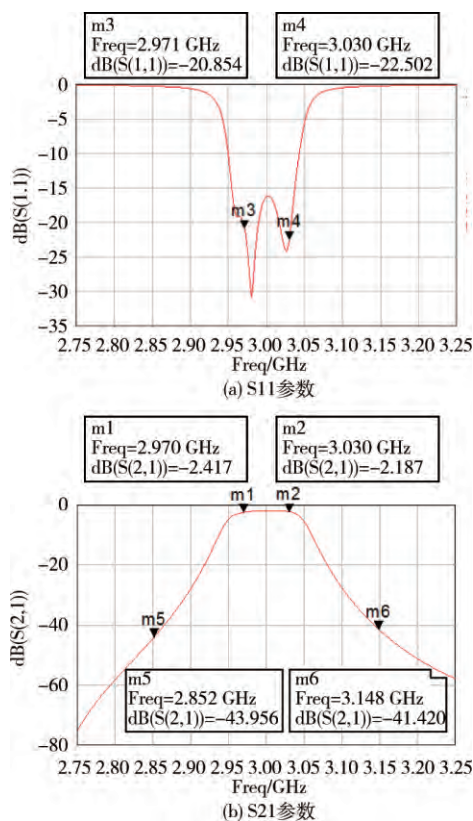


图8 版图仿真结果

系数相对于原理图有所恶化,这是因为在版图仿真中考虑到了微带线基板的介电常数和损耗正切的影响,导致传输线在传输过程中有介质和能量的损耗,但是仿真结果完全满足设计要求。

### 3 结束语

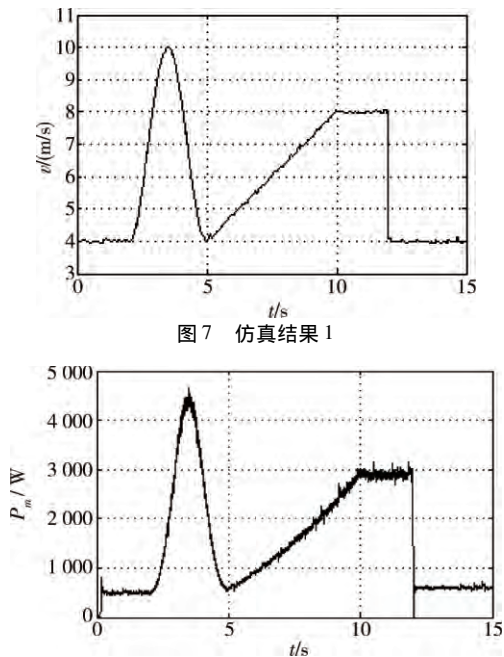
本文采用 ADS 中的无源电路设计向导工具快速、准确地完成了平行耦合微带线带通滤波器的设计,大大提高了工作效率,不仅缩短了设计周期还避免了使用手工计算出错的可能性。考虑到当前设备制造精度的影响,本文在原理图和版图仿真中反复微调和优化微带线的尺寸,确保了制造出来的微带线带通滤波器的高可靠性,对后续不同类型滤波器的设计具有很好的借鉴和参考意义。

### 参考文献

- [1] 徐兴福. ADS2008 射频电路设计与仿真实例[M]. 北京: 电子工业出版社, 2011.
- [2] 张龙. 多层介质结构 LC 带通滤波器设计与制作[D]. 南京: 南京邮电大学, 2013.
- [3] 喻勇, 姚志成, 庄信武, 等. 一种新结构差分低通滤波电路设计[J]. 电子技术应用, 2014, 40(11): 50-52.
- [4] 廖承恩. 微波技术基础[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1994.

(下转第 96 页)

(上接第 86 页)



### 参考文献

- [1] 王兆安, 黄俊. 电力电子技术(第 5 版)[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [2] 张蔚, 王岳, 杨奕. 直驱永磁同步风力发电系统的研究[J]. 制造业自动化, 2012, 34(7): 1-4.
- [3] 李扬. 永磁直驱风力发电系统的模拟仿真及 MPPT 方法研

究[D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2010.

- [4] 吴昊天. 永磁直驱风力发电系统并网控制策略研究[D]. 鞍山: 辽宁科技大学, 2013.
- [5] 李贺冰, 袁杰萍, 孔俊霞. Simulink 通讯仿真教程[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006.
- [6] 张莲, 胡小倩, 王士彬. 现代控制理论[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008.
- [7] VEAS D R, DIXON J W, JOO B T. A novel load current control method for a leading power factor voltage source PWM rectifier[J]. IEEE Transaction on Power Electronics, 1994, 9(2): 152-160.
- [8] CHOI J W, SUL S K. New current control concept-minimum time current control in the three-phase PWM converter[J]. IEEE Transaction on Power Electronic, 1997, 12(1): 122-133.
- [9] TEZ E S. A simple understanding of field-orientation for AC motor control[C]. Vector Control and Direct Torque Control of Induction Motors, IEEE Colloquium, 1995: 3/1-3/4.
- [10] Zhang Jianzhong, Cheng Ming, Chen Zhe. Pitch angle control for variable speed wind turbines[C]. International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies 2008. Nanjing 2008: 2691-2696.

(收稿日期: 2016-04-08)

### 作者简介:

邵剑强(1990-), 男, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 电力系统及新能源技术。

陈尔奎(1970-), 男, 高级工程师, 副教授, 主要研究方向: 风能太阳能控制技术, 智能电网技术, 变压器优化设计技术, 变频调速技术。

《微型机与应用》2016 年第 35 卷第 17 期



## 5 结论

本文利用脉搏心率传感器、Arduino 单片机和 LabVIEW 平台设计了一款低成本、低功耗、操作简单、界面美观的脉搏心率检测仪,实现了以下功能:

- (1) 下位机数据采集处理以及数据发送;
- (2) LabVIEW 上位机接收数据并实现心电图显示、数据存储及波形回放;
- (3) 定时计算心跳频率并显示;
- (4) 绘制心形曲线。

在当前互联网+的模式下,尤其是网络技术高速发展推动虚拟仪器及其相关领域快速发展的情势下,本设计更加符合社会消费理念和广大消费者的生活需要。

## 参考文献

- [1] 罗志昌,张松,杨益明. 脉搏波工程分析与临床应用[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
  - [2] 许雪楠,梁晋涛,黄邦宇. 基于 STM32 的健康一体机控制系统的设计[J]. 微型机与应用, 2013, 32(16): 20-22, 25.
  - [3] 李能禾,成谢锋. 基于 LabVIEW 和 MATLAB 的心音检测与小波去噪[J]. 微型机与应用, 2010, 29(1): 6-9.
  - [4] 韩军. 基于 LabVIEW 的脉搏信号检测系统[J]. 微计算机信息, 2011, 27(5): 58-59.
  - [5] 姚峰,乔晓艳,董有尔. 基于 LabVIEW 的无创脉搏血氧检测系统设计[J]. 山西大学学报(自然科学版), 2010, 33(1): 92-96.
  - [6] 吴素花,张永寿. 基于虚拟仪器的心率检测[J]. 中国医学装备, 2015(4): 47-48.
  - [7] 杨丹,丁梦晓,郑磊,等. 便携式脉搏血氧饱和度测量仪的研制[J]. 微型机与应用, 2015, 34(22): 92-95.
  - (收稿日期: 2016-05-15)
- 
- 作者简介:
- 王慧媛(1995-), 通信作者,女,本科,主要研究方向: 电子与系统。E-mail: 1975917761@qq.com。
- 蒋敏兰(1976-), 女,副教授,硕士生导师,主要研究方向: 传感器技术及应用。
- 
- (上接第 90 页)
- [5] 周杨. 微波功率合成器设计研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2007.
  - [6] 甘本祓,吴万春. 现代微波滤波器的结构与设计[M]. 北京: 科学出版社, 1973.
  - [7] 刘长军,黄卡玛,闫丽萍. 射频通信电路设计[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
  - [8] 杨维生. 多层微波网络用印制板制造研究[J]. 印制电路信息, 2005(8): 47-53.
  - [9] 殷际杰. 微波技术与天线[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
  - (收稿日期: 2016-05-11)
- 
- 作者简介:
- 杨振国(1990-), 男,硕士研究生,主要研究方向: 智能系统与设计。
- 王勇(1965-), 男,硕士生导师,副教授,主要研究方向: 集成电路设计与应用。
- 樊高有(1991-), 男,硕士研究生,主要研究方向: 智能系统与设计。
- 
- (上接第 93 页)
- [7] 茹斌,张天伟,王宇欣. 基于小波去噪及 ARMA 模型的故障率预测方法研究[J]. 测控技术, 2014, 33(10): 43-46.
  - [8] 秦毅,王家序,毛永芳. 基于软阈值和小波模极大值重构的信号降噪[J]. 振动、测试与诊断, 2011, 31(5): 543-547.
  - [9] 余倩,李跃忠. 基于小波变换的超声波含噪信号处理[J]. 电子质量, 2013(11): 14-18.
  - [10] 刘涛,李爱群,丁幼亮. 小波分析在结构损伤识别中的应用[J]. 地震工程与工程振动, 2008, 28(2): 29-35.
  - [11] JIN S, KIM J S, LEE S K. Sensitive method for detecting tooth faults in gearboxes based on wavelet de-noising and empirical mode decomposition[J]. Mechanical Science and Technology, 2015, 29(8): 3165-3173.
  - [12] 王维,张英堂,任国全. 小波阈值降噪算法中最优分解层数的自适应确定及仿真[J]. 仪器仪表学报, 2009, 30(3): 526-528.
  - [13] 吴桂芳,何勇. 小波阈值降噪模型在红外光谱信号处理中的应用研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(12): 3246-3249.
  - (收稿日期: 2016-05-10)
- 
- 作者简介:
- 赵松玲(1992-), 女,硕士研究生,主要研究方向: 自动控制与自动检测。
- 林旭梅(1970-), 通讯作者,女,博士,教授,硕士生导师,主要研究方向: 自动控制理论与自动检测。E-mail: lxm-ll@163.com。
- 马石岩(1983-), 男,本科,工程师,主要研究方向: 智能建筑与智能城市。