



Innovation
ADI 2008 University
Design Competition

ADI中国大学创新设计竞赛

优秀论文选编

竞赛组委会 编

年度

2008



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

2008 年度 ADI 中国 大学创新设计竞赛优秀论文选编

竞赛组委会 编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本论文选编是对“2008 年度 ADI 中国大学创新设计竞赛”设计作品的总结。在所有参赛作品的论文中，这些论文基于 ADI 的模拟和处理器产品，结合实际应用，并融入了设计者创新的思想方法和设计理念，是当代先进信号处理技术在多个领域中应用范例的集合。本书介绍了每个参赛作品的设计思路、实验方法、实现过程和结果分析，并论述了各选题的工程实用性、创新点和实现难点。

本书适合电子工程技术人员，电子、通信与控制等相关专业的在校师生阅读。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

2008 年度 ADI 中国大学创新设计竞赛优秀论文选编 / 2008 年度 ADI 中国大学创新设计竞赛组委会编.
—北京: 电子工业出版社, 2009.3
ISBN 978-7-121-08303-7

I. 2… II. 2… III. 电子器件—设计—文集 IV. TN602-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 021492 号

责任编辑: 竺南直 特约编辑: 熊小芸

印 刷: 北京东光印刷厂

装 订: 三河市鹏成印业有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 30.25 字数: 774 千字 彩插: 1

印 次: 2009 年 3 月第 1 次印刷

印 数: 3 000 册 定价: 49.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

序

ADI 中国大学创新设计竞赛（ADI “Future Innovators” University Design Competition, 简称 UDC）是 ADI 公司面向在校大学生的科技型竞赛活动。自 2006 年至今，竞赛已成功举办三届，参与人数达数千人，覆盖了全国范围内众多的电子信息类高校及院系。

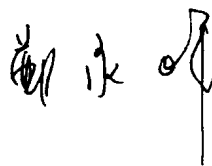
2008 年是不平凡的一年，我们经历了各种各样的考验，并且坚强地走了过来。同时，我们也很欣慰地看到，在过去很长的一段时间内，同学们花了相当多的时间和精力，用自己顽强的意志和卓越的才能设计并完成了优秀的作品。

在此，我代表 ADI 公司，感谢众多高校领导、老师和同学们的积极参与，同时，也感谢 ADI 的合作伙伴、客户及合作媒体对本次活动的支持与关注！

UDC 计划现已进入第四届，该计划是激发未来创新型人才潜力的一个成功范例。我们将一如既往地做好此竞赛，利用 ADI 的资源及影响力，将创新精神和理念更好地普及到当代大学生的生活、学习和工作中。

为了与行业内更多的人分享这些优秀的作品，首届竞赛以来，我们将精彩的内容编辑成册，内容涵盖工业、医疗、消费、测量、汽车、多媒体等应用领域，希望通过竞赛的推广，让更多的读者了解这些优秀作品，拓展视野、启迪思维。也希望通过本书的出版，使更多人增进对 ADI 公司产品与技术的了解。

ADI 作为全球顶尖的 IC 设计公司及产品应用方案提供商，一直致力于与中国教育和行业部门的密切合作，促进工程领域的创新精神及创造力的发展。ADI 将一如既往地关注和支持在中国教育事业的投入，并尽其所能开展与大学全方位的合作，包括建立以教学和科研为目的的联合实验室、各类电子竞技活动、相关教学课程、培训认证等，并竭力为教师与学生提供多种学习资源，为中国的科技事业带来前所未有的动力！



ADI 公司亚太区副总裁

ADI 大学计划（中国）

ADI 在中国的大学计划是一项长期的战略性计划，致力于促进 ADI 与中国教育与研究领域交流与合作，包括：

- 资助模拟信号设计、混合信号设计以及数字信号设计领域的前沿研究
- 协助大学/研究机构建立 ADI 联合实验室
- 与大学研究机构/老师合作联合项目，协助高校研究成果产业化
- 以优惠的价格提供软、硬件开发工具
- 以优惠的价格参加 ADI 处理器短训班
- 向大学教授、研究人员和学生提供研发用样片、技术资料 and 最新开发工具的信息等
- 举办所有在校大学生的 ADI 大学创新设计竞赛(UDC)
- 举办巡回大专院校的免费技术研讨会
- 举办大学老师年会，为授课教师提供相关专业知识、教学方法、讲课技能的培训
- 建立 ADI 优秀人才系统，为在校大学生提供实习以及毕业设计机会
- 资助并协助大学教授撰写相关书籍以及技术文档
- 资助/推荐学生优秀应用文章发表

ADI 一直非常关注中国的教育事业，从 2002 年开始，我们就致力于建立与大学机构的沟通交流的桥梁，先后在北京、上海、天津、深圳、哈尔滨等地与大学合作，建立联合实验室，开展前沿的电子设计应用技术与课程整合的研究与实验。

目前，在全国共有几十所大学与 ADI 建立了联合实验室，ADI 提供了资金资助及技术服务，推广 ADI 的模拟，MEMS, ADuC，嵌入式处理器系列及 DSP 产品的大力应用，积累了大量丰富的工程经验，同时也培养出一批富有创新能力的教师及学生。

ADI 公司作为全球领先的高性能模拟集成电路（IC）制造商，其影响力及创造力还将继续扩大，加强与大学的合作促进了理论与实际的结合，激发学生的学习兴趣，引导他们进一步探索丰富多彩的电子设计技术。

ADI 中国大学计划（University Program Contact）

Website: <http://www.adicenter.com.cn>

Email: Univ.program.china@analog.com



决赛获奖名单

奖项	学校名称	指导教师	作品名称
专业组 一等奖	深圳大学	蒙山	智能追踪摄像车
	电子科技大学	鲍景富	魔法手套——基于 iMEMS 的手部运动检测系统
	华南理工大学	张东	魔幻彩球
	西安电子科技大学	杨兵	餐厅顾客服务终端
专业组 二等奖	湖南大学	滕召胜	盲人智能手机
	深圳大学	蒙山	基于 ADuC7026 处理器的模型汽车电子稳定系统
	北京理工大学	胡晓明	基于 BF533 的虚拟音乐演奏系统设计
	西安电子科技大学	石光明	基于完全匹配小波理论的新型超声波医疗探测系统
	哈尔滨工业大学	陈平	基于 ADuC7026 无刷直流电机的驱动
专业组 三等奖	上海交通大学	赵宇明	嵌入式高动态范围图像采集设备
	浙江大学	沈义民	人体生理参数检测系统
	哈尔滨工业大学深圳研究生院	王昕	基于 ADuC7026 的太阳能跟踪系统设计
	华南理工大学	金连文	IPen（智能笔）
	云南大学	王威廉	基于微波波谱分析的植物水分检测系统
高级组 一等奖	南京理工大学	郭克华	多目的的水印识别系统
	成都信息工程学院	李兴华、 杨波	儿童多动症脑电生物反馈治疗系统
	武汉科技学院	田裕康	新型织物悬垂特性测试系统
	湘潭大学	胡洪波	基于视频的智能杂质检测系统
	西安电子科技大学	王敏	基于 ADSP-BF533 的多功能奥运导游仪
	北京理工大学		基于 ADXL203 双轴加速度计的“稳钓台”
	天津大学	李刚	超动态生物信号采集器

优胜奖	重庆工学院	肖蕙蕙	基于 BF533 的便携式车辆超速抓拍系统
	云南大学	杨军	便携智能叫号机
	中国计量学院	杨其华	基于视频技术的细胞电生理特性检测
	北京航空航天大学	陈培	足球小子
ADuC 年度特别奖	电子科技大学	鲍景富	魔法手套——基于 iMEMS 的手部运动检测系统
ADuC 年度特别奖	深圳大学	蒙山	基于 ADSP-BF533 的呼吸机的控制系统
ADuC 年度特别奖	哈尔滨工业大学	陈平	基于 ADuC7026 无刷直流电机的驱动
BF54x 年度特别奖	深圳大学	蒙山	智能追踪摄像车
最佳创意奖	北京理工大学	胡晓明	基于 ADSP-BF533 的虚拟音乐演奏系统设计
最佳硬件设计奖	北京航空航天大学	陈培	足球小子
最佳软件设计奖	武汉科技学院	田裕康	新型织物悬垂测试系统
最佳系统设计奖	深圳大学	蒙山	基于 ADuC7026 处理器的模型汽车电子稳定系统
最佳原创设计奖	湖南大学	滕召胜	盲人智能手机
	教师姓名		学校名称
最佳指导教师奖	石光明		西安电子科技大学
	王威廉		云南大学
	鲍景富		电子科技大学
	沈义民		浙江大学
	张东		华南理工大学

前 言

ADI 公司（Analog Devices, Inc., 纽约证券交易所代码: ADI）设立的中国大学创新设计竞赛（University Design Competition, UDC）是面向在校大学生的科技型竞赛活动，旨在培养学生的创新能力、协作精神和工程实践素质，提高学生针对实际问题进行设计制作的能力，对应用系统的理解和设计能力，使学生能够理论结合实际，全面发展。同时，本竞赛也为学生们提供了良好的契机和平台去了解业界最新的电子元器件、DSP 产品以及电子产品的设计理念和 trends，使学生能够更快融入到现代信息产业设计之中，培养和提高学生的就业能力，增强学校、学生和业界的交流，尤其加强 ADI 公司与各大学的联系与合作，推动 ADI 公司与大学的交流和共同发展。

竞赛围绕“创新”这一主题，紧扣当今社会电子产业的最新领域和发展方向，采取开放性命题原则，留给参赛者极大的设计空间。本次竞赛也非常注重参赛作品的原创性与特色，不仅对参赛队提供平台及技术支持，同时也聘请了业界和各高校的专家参与评奖，并设立了各级奖项和多种单项奖作为鼓励。

在 2008 年度竞赛结束两个月后，第四届中国大学创新设计竞赛已拉开帷幕，并将于 2009 年 11 月在深圳举行决赛答辩、颁奖典礼和优秀作品展示活动。专业组参赛队将携带他们的作品通过现场决赛及答辩的方式评出最终奖项。在优秀作品展示活动上，主办方将邀请电子行业媒体及主流媒体对活动进行报道，以期将新世纪中国大学生的创新意识展现给社会。与以往不同的是，此次竞赛还增添了指导教师奖金一项，旨在感谢老师们对参赛队员的辛苦指导，也感谢他们对 ADI 竞赛的支持。历届竞赛均历时十个月之久，需要参赛者付出极大的努力去完成。无论最终结果如何，他们都实现了大学生生活中的一次重大飞跃，即不仅仅接触到了当今世界先进技术与产品，而且有更多的人通过参与其中锻炼了卓越的才能，包括组织能力、策划能力、团队协作能力、危机处理能力，更重要的，还有创新能力。这也是 ADI 开展大学计划和举办创新竞赛的目的。因此，我们衷心地感谢各个参赛队的积极参与。在被同学们的热情所感染、被同学们的执著所打动的同时，我们看到了中国电子行业发展的潜力，体会到了人才发展的艰辛，让我们有更加充足的动力为教育和科技行业贡献一份力量！

在此，我们更要感谢竞赛中各位评委以认真负责的态度保证了竞赛的“公平、公正、公开”原则，感谢组委会各位委员及各高校的大力支持和帮助！

我们真诚地邀请来自全国各高校的小伙伴们踊跃报名，积极参与，并预祝取得理想的成绩！

竞赛组委会
2009 年 2 月

目 录

基于微波波谱分析的植物水分检测系统	宁 杨 张丽娜 罗 谧 (1)
嵌入式高动态范围图像采集设备	江兴智 朱江超 杭 添 (29)
魔法手套——基于 iMEMS 的手部运动检测系统	张良钊 史荣涛 (42)
魔幻彩球	吕盛奇 夏伟平 李继平 黄之峰 (63)
盲人智能手机	杨步明 (84)
智能追踪摄像车	陈 昌 张永龙 杨福传 刘钟泽 (106)
基于 ADI 系列芯片的模型汽车电子稳定系统	苏 飞 欧 东 魏晋书 (123)
基于 BF533 的虚拟音乐演奏系统设计	郝 鹏 刘 伟 苏 韬 张 杨 (148)
智能笔	李柏锋 严汉羽 戴求淼 丁 凯 (163)
基于 ADXL330 加速度计的嵌入式实时视频稳像系统	肖 潇 陈跃庭 葛 鹏 禹 果 (177)
基于完全匹配小波理论的新型超声波医疗探测系统	陈崇雨 张克业 何嘉懿 (200)
餐厅顾客服务终端	徐常志 邵文建 郭晓晶 李 震 (221)
基于 ADuC7026 无刷直流电机的驱动	杨 桐 姜 洋 王 宁 (239)
基于 ADuC7026 的太阳能跟踪系统设计	陈 力 刘能锋 颜廷玉 (260)
人体生理参数检测系统	梁 波 方 璐 陈卫红 (279)
多目的的水印识别系统	陈海燕 (289)
儿童多动症脑电生物反馈治疗系统	蒲文栋 杨 睿 余 华 (312)
新型织物悬垂特性测试系统	罗 成 刘 峰 许乐平 张 昕 (328)
基于视频的智能杂质检测系统	郭国文 张国先 张 明 (351)
基于 ADSP-BF533 的多功能奥运导游仪	袁 鑫 崔善超 林志杰 刘锋昱 (367)
基于 ADXL203 双轴加速度计的“稳钓台”	徐远华 郑华银 (379)
基于 BF533 的便携式车辆超速抓拍系统	王庆飞 魏云茂 蒋 涛 (396)
便携智能叫号机	郭跃东 唐宗磊 李怀义 (410)
基于视频技术的细胞电生理特性检测	李 洁 刘艳玲 许益河 (416)
足球小子	王 盛 (428)
基于 ADI 系列芯片的呼吸机智能控制系统	陈 磊 杨太康 吴仲滔 (451)
附录 A ADI 中国大学创新设计竞赛竞赛章程	(469)
附录 B 竞赛公约	(471)
附录 C 竞赛内容	(472)

基于微波波谱分析的植物水分检测系统

宁 杨 张丽娜 罗 谧

云南大学

指导教师: 王威廉

摘 要: 本项目设计了一个基于微波波谱分析的植物水分检测系统。该系统利用微波谐振腔扰动理论并与数字下变频和 DSP 技术相结合来测量植物的水分含量, 是应用微波检测技术的一种新的尝试。

系统以 BF533 作为信号处理和系统控制的核心, 采用 AD6652 来实现高速 A/D 转换和数字下变频功能。射频模块部分采用一片 ADF4360-0 来产生扫频信号, 利用另一片 ADF4360-0 作为本振, 与从谐振腔采集的信号进行混频, 实现模拟下变频, 将信号频率降低, 以便 AD6652 和 DSP 进行后续的信号处理。DSP 可将数据处理的结果显示到 LCD 屏上, 并可选择存储到 Flash 中。

关键词: 植物水分检测, 微波波谱, 数字下变频, BF533, AD6652, ADF4360-0

A Precise Diagnosis System of Water Stress in Plants Based on Analysis of Microwave Spectrum

Abstract: We designed a Precise Diagnosis System of Water Stress in Plants Based on Analysis of Microwave Spectrum. The novel system uses the microwave detecting technique, adopts microwave resonant cavity disturbance and combines with DDC and DSP to detect the moisture in plants accurately.

ADSPBF533 is the core of our system and AD6652 is used in A/D and DDC. In the same time, we designed a Frequency Sweep Signal Generator which generated the signal for the microwave resonant cavity with ADF4360-0 chip. We also designed a Local Oscillator (LO) with another ADF4360-0 chip. The signal of LO and the output of the microwave resonant cavity are inputted to the mixing device to realize analog down-conversion. The frequency of the signal after down-conversion is easy to process for DSP and AD6652.

Key Words: diagnosis of water stress, analysis of microwave spectrum, DDC, BF533, AD6652, ADF4360-0

1 概述

1.1 背景分析

我国是世界上水资源极度缺乏的国家之一, 淡水资源只占世界总量的 7%, 被联合国列为

13 个贫水国家之一。水的供需矛盾已成为制约我国工农业生产和城市发展的瓶颈。我国又是农业大国，农业用水在全国用水总量中的比例最大（占总用水量的 73%），而我国的农业长期以来采用粗放型灌溉方式，水的利用率很低，农业用水中有 2/3 被农业灌溉消耗掉。因此，提高水的利用率，发展节水农业十分迫切，是实现农业可持续发展的重要措施之一，也是我国解决缺水问题的必由之路。

植物吸收水分并不是越多越好，而是存在一个最佳值，也就是说，不论给植物浇灌多少水，实际需要的只是一个确定的量。精灌技术作为节水农业的一个分支，根据作物的实际需求将水和作物生长所需的养分，以微小的流量均匀、准确、适时、适量地直接输送到作物根部附近的土壤表面或土层中进行灌溉，不仅能使灌溉水的渗漏和地表蒸发减少到最低限度，而且精确控制浇水量有利于作物的生长，提高作物的产量和品质，是一种高效的节水灌溉技术。

要实现精确灌溉，首先就要详细掌握植物的缺水信息，只要知道植物什么时候需要给水，需要给多少水，就可以精确地控制浇水量达到节水、增产的目的。我们的项目正是根据这一需求，设计了一个基于微波波谱分析的植物水分实时检测系统。

1.2 实现原理

目前我国农林业应用的节水灌溉系统是根据土壤的湿度来制定灌溉策略，尽管应用广泛，但仍然存在很多问题。首先土壤水分传感器探头易受到温度、盐分累积等多种因素的干扰，响应速度慢，测量精度也不高；其次土壤水分检测属于间接检测，不能直接反映出植物的缺水状况，因而不能充分实现真正意义上的精确灌溉。因此，把植物本身作为被控对象和检测环节，是目前最有效的精确灌溉方案之一。

现有的植物水分测量方法主要有干燥法、叶片厚度测量法等。

干燥法是采集植物叶片放入电热烘箱进行干燥，根据叶片干燥前后质量的差值确定植物含水量。干燥法虽然检测准确度高，但操作过程烦琐，检测周期较长，不能实现对植物水分的实时连续测量。

叶片厚度测量方法是利用一个可以精确测量叶片厚度的位移传感器，根据叶片厚度与植物水分含量之间存在的一种精确函数关系，推断植物是否缺水。虽然比较直观，但需要昂贵的高精度测量设备才能实现，并且不够敏感，存在一定的滞后性。

上述方法都存在着各自固有的缺陷，无法实际应用于精确灌溉系统，而且在测量过程中还会对植物造成不同程度的损伤。

微波检测技术作为一种非接触式无损检测技术，以其检测速度快、灵敏度高、测量精度高、便于动态检测和实时处理等优点，近些年来在测量技术领域得到很大发展。

其中，水分含量检测成为微波检测技术发展的一个重要方向。由于水在微波频段的介电常数与一般介质差异巨大，使一般物质中的水分成为决定其介电常数的主要因素，一旦物质中的水分含量发生变化，就会引起它的介电特性发生变化。通过测量与介电常数密切相关的物理量，如谐振频率、幅度、相位等的变化，就能推断出物质的含水量。

目前用于物质水分检测的微波方法主要是透射法。它是利用微波贯穿介电材料能力强的特点，通过测量微波透射被测物前后能量的变化，得到被测物的水分含量。但该方法仅适用于形状规则、密度均匀的被测物，否则测量精度和准确性都会受到很大影响，因此不适用于植物水分含量的检测。

不同于微波透射法，我们设计了一种基于谐振腔微扰理论的植物水分实时检测系统（如

图 1 所示), 它使用方便, 只需将微波谐振腔套在植物叶片或茎干上就能进行检测(未来我们考虑把这个谐振腔做成可开启和闭合的类似夹子的形状, 使用起来将会更加方便、灵活)。其中谐振腔的 1 号探针与一个能产生 2~3GHz 微波信号的扫频信号发生模块相连; 另一探针将采集到的信号送入系统进行数据处理及分析, 根据分析结果推断植物缺水情况。根据谐振腔微扰理论, 当把植物叶片进入谐振腔的中心通孔时, 含有水分的植物叶片将会对谐振腔内部的电磁场产生干扰, 引起谐振频率发生偏移、功率衰减和品质因数 Q 等参数的改变, 系统由此来推算植物含水量的多少。

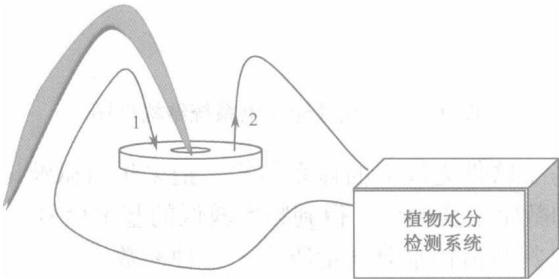


图 1 系统示意图

为了验证该方法的有效性, 我们用一个简化装置对兰花等植物进行了含水量检测的试验。该试验对 2 号探针采集到的信号经过模拟下变频处理后, 只是采用包络检波方法提取出微波波谱的包络进行比较, 试验结果如图 2、图 3 所示。

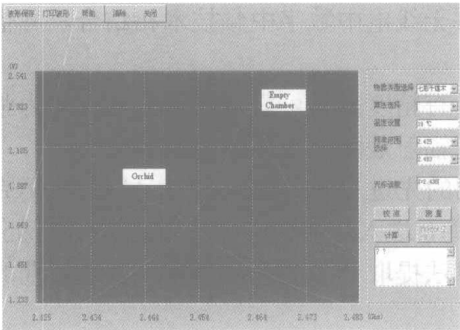


图 2 空腔与放入兰花叶后对比图

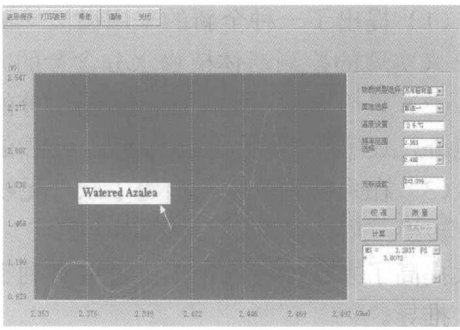


图 3 浇水与缺水对比图

图 2 中, 右边的曲线是空腔时的情况, 左边的是放入兰花叶后的情况, 谐振频率发生了明显偏移, 电平幅值也显著降低, 差别明显。图 3 中, 最右边的曲线是空腔时的状态, 最左边(幅值最低)的是浇过水的兰花测得的结果, 中间的四条曲线, 从右至左分别是 4 天、8 天、12 天未浇水的情况, 对应幅值呈逐渐递增趋势, 而谐振频率相对于空腔状态的偏移也明显地呈现出减小的趋势。

通过该试验充分验证了, 采用微波谐振腔微扰理论来实现检测植物水分含量的方法, 是切实可行的, 是检测植物水分的一种十分有效的手段。需要指出的是, 该试验采用的是模拟的方法, 存在易受外界干扰、不稳定、无法准确检测植物水分含量、使用不便等缺点。而采用 DSP 技术则能有效克服这些缺点, 但由于微波频率较高, 不能直接使用 DSP 处理器处理, 所以我们借用软件无线电的先进概念, 采用数字中频技术来实现我们的构想。

软件无线电是 20 世纪 90 年代提出的一种实现无线电通信的新体系结构, 是基于一个通

用可编程控制的硬件平台，在尽可能靠近射频天线的地方通过宽带 A/D 转换器完成信号的数字化并通过数字下变频器（DDC）降低数据速率，然后用软件来实现无线通信的各种功能（其系统结构框图如图 4 所示），具有很好的通用性、灵活性。

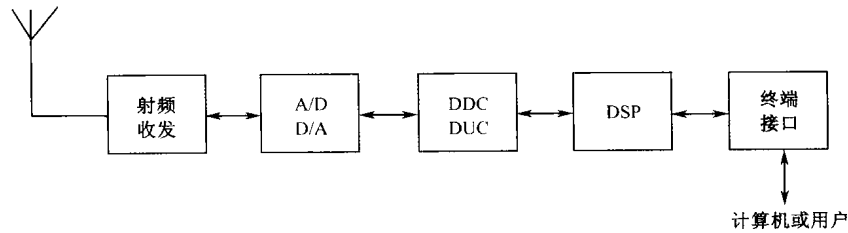


图 4 理想软件无线电系统结构框图

我们设计的系统参考了软件无线电的体系结构，把采集自微波谐振腔的高频信号利用高速 ADC 进行 A/D 转换和数字下变频后，得到频率较低的基带信号送入 DSP 进行后续处理，最终通过频谱分析提取出判断植物水分含量所需的各种参数。

1.3 特色与创新点

我们设计的基于微波波谱分析的植物水分检测系统，采用了近年来比较热门的微波检测方法，并与数字中频和 DSP 技术相结合来测量植物的水分含量，这是应用微波检测技术的一种新的尝试。与传统的植物水分测量技术相比，该方案具有如下特色：

（1）提出了一种全新的采用微波检测技术与软件无线电中数字中频技术相结合，并借助 DSP 来实现的检测活体植物水分含量的方法。

（2）采用微波谐振腔测量植物水分的方法，除具有精度高、可靠性好、抗干扰能力强等优点外，还宜于实现无损、快速、连续的测量，且无辐射危险，操作和使用非常安全。

（3）在系统设计中，借鉴了软件无线电体系结构的先进思想，应用高速 ADC 尽早完成 A/D 转换，并经过数字下变频器（DDC）降低数据速率，送入后端 DSP 对数据进行分析处理，大大提高了系统检测的精确度，并有利于应用各种算法提取更多的有用信息，以便后期的计算、推导。

（4）由于采用模块化的设计以及各种集成数字芯片和 DSP 处理器的应用，使该系统体积较小、成本低廉、便于安装、调试和检修，以后经过改进，还有望开发成一款便携式的设备。

1.4 市场应用前景

我们设计的基于微波波谱分析的植物水分实时检测系统，能够实现实时、准确、无损的测量，具有使用方便、可靠性好、抗干扰能力强等诸多优点。因此，在植物水分检测领域有着很好的应用前景。

此外，在其他诸多领域中，如食品、医药、烟草、化工、冶金等工农业生产过程中，某些材料的含水量对产品的性能和质量都有着非常重要的影响，所以在生产过程中要能对这些材料的含水量进行实时快速检测，以适时调整生产工艺，保证产品质量。而在某些场合，还要求实现无损检测。这些都是传统检测方法很难做到的，而我们的系统不仅能弥补传统检测方法的不足，还具有很多传统方法无可比拟的优势，在上述生产领域中使用有着很强的实用

价值和市场价格，应用前景十分广阔。

2 系统方案

我们设计的系统硬件部分主要由以下几部分构成：扫频信号产生模块、微波谐振腔、模拟下变频、数字中频、DSP、LCD 以及存储模块等，整个系统的架构如图 5 所示。

该系统由 DSP 通过 SPI 串口控制扫频电路，产生一个 2.4~2.7GHz 的扫频信号输入谐振腔，模拟下变频模块将取自谐振腔的信号经过混频处理后，信号频率降至几十兆赫兹，随后送入数字中频模块完成 A/D 转换和数字下变频，得到的基带信号满足 DSP 的处理要求，最后由 DSP 完成信号的解调、分析并把结果显示在 LCD 屏上。未来如果将该系统应用于灌溉系统中，还可通过通信接口发送控制信号到灌溉装置，以实现根据植物缺水量自动浇灌。

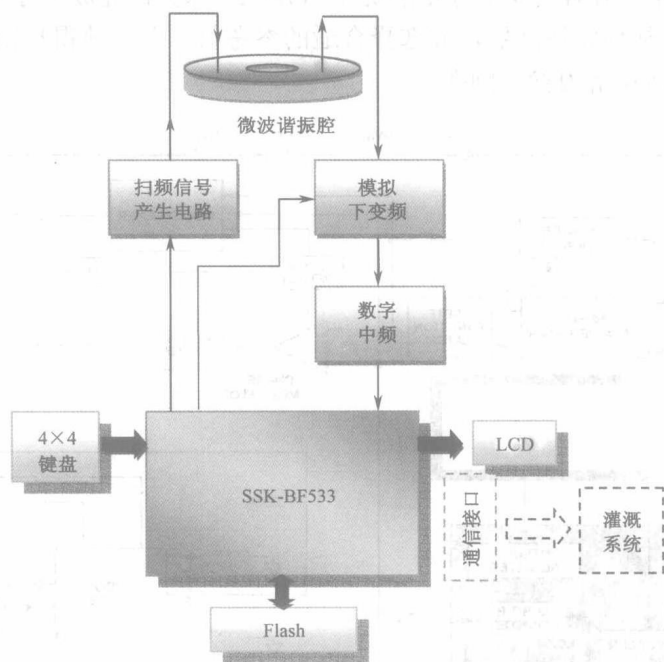


图 5 系统架构图

2.1 硬件设计

2.1.1 扫频模块

扫频模块主要是产生我们所需的指定范围内的，频率随时间作均匀变化的、等幅的正弦信号。最简单的扫频信号产生电路就是用一个选定的周期性的信号控制压控振荡器（VCO），使其频率按照控制信号的周期发生相应的变化。

我们选用 ADI 公司高性能的锁相环频率合成器 ADF4360-0 来产生扫频信号。该器件采用锁相环（Phase Lock Loop，PLL）频率合成技术能够输出频率范围 2400~2725MHz 的信号。

锁相环路（PLL）通常由鉴相器（PD）、环路滤波器（LP）、压控振荡器（VCO）和可变程序分频器组成，如图 6 所示。

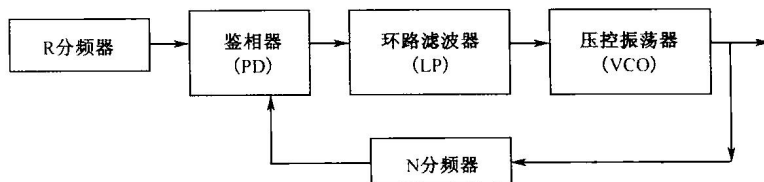


图6 锁相环基本原理框图

外部晶振经 R 分频产生的参考频率与 VCO 的输出频率经 N 分频后在鉴相器进行相位比较，产生误差控制电压，经环路滤波器滤除高频分量和噪声后，控制 VCO 产生所需振荡频率。

ADF4360-0 主要由数字鉴相器、电荷泵、R 分频器、A、B 计数器及双模前置 $P/P+1$ 分频器等组成，如图 7 所示。数字鉴相器对 R 计数器与 N 计数器的输出信号进行相位比较，得到一个误差电压。14 位可编程参考 R 分频器对外部晶振分频后得到参考频率。该器件通过可编程 6 位 A 计数器、13 位 B 计数器及双模前置分频器 ($P/P+1$) 来共同完成主分频比 N ($N=BP+A$)。因此，设计时只需外加环路滤波器，并选择合适的参考值，即可获得稳定的频率输出，其输出频率为 $f_o=f_{vco}=N(f_i/R)$ ， f_i 为参考频率。

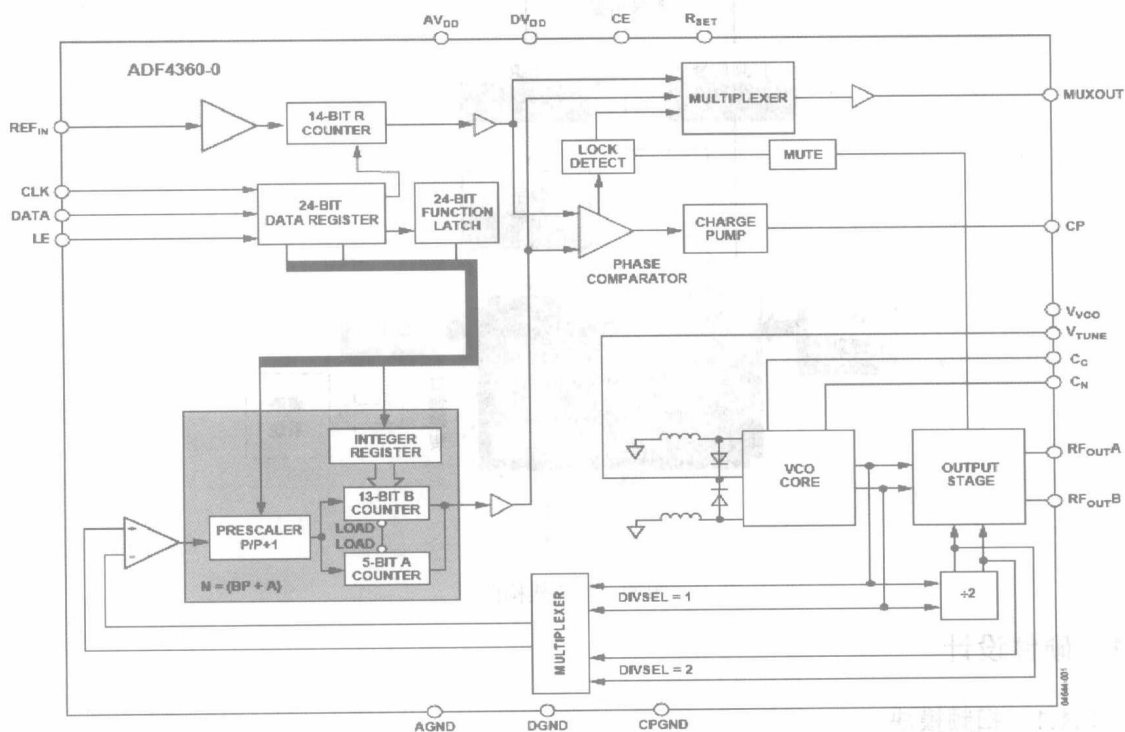


图7 ADF4360-0 功能框图

扫频电路的原理图如附录 A 所示，电路中的外部晶振为 10MHz 的高稳定性有源晶体振荡器。晶体振荡器为 ADF4360-0 提供参考频率和时钟。由 DSP 通过 SPI 口控制 ADF4360-0 芯片的锁存器，只要循环配置其中的 R 和 N 锁存器，就能得到周期性的扫频信号。晶振连接到 ADF4360-0 的参考时钟输入引脚 CLK_ref，且其内部电荷泵输出引脚 CP (Charge Pump) 与 VCO 输出引脚 VTUNE 之间还应接入环路滤波电路（如图 8 所示）。

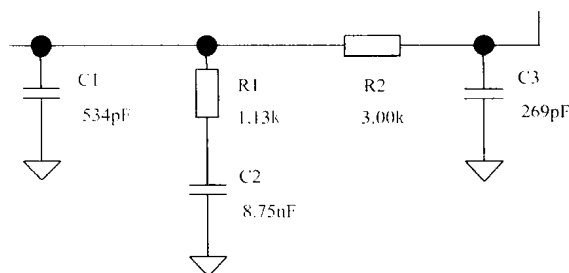


图 8 三阶环路滤波电路

2.1.2 模拟下变频模块

按照理想软件无线电的思想，应该直接在射频上进行采样。但目前的硬件水平还很难达到要求，因此增加了模拟下变频电路，实现信号频率由射频到中频的转换。模拟下变频电路的实现原理就是将高频信号与本地振荡器产生的模拟本振信号相乘（即混频），混频后得到的信号频率为输入信号与本振的差频，从而实现了下变频到模拟中频的转换，使频率较高的射频信号从 GHz 下降到几十 MHz 的数量级，如图 9 所示。

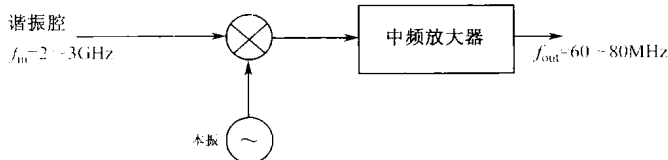


图 9 模拟下变频原理图

模拟下变频电路主要采用 ADF4360-0、ADL5531 和 MAX2041 三种芯片，ADF4360-0 前面已做过详细介绍，只是作为本振时，锁存器的配置方式有所不同。为得到固定频率的本振信号，只需通过 DSP 对 ADF4360-0 的 C、R、N 三个锁存器执行一次写操作即可（不同在于做扫频信号源时需要循环地写 R 和 N 锁存器）。ADF4360 的外围电路图如图 10 所示。

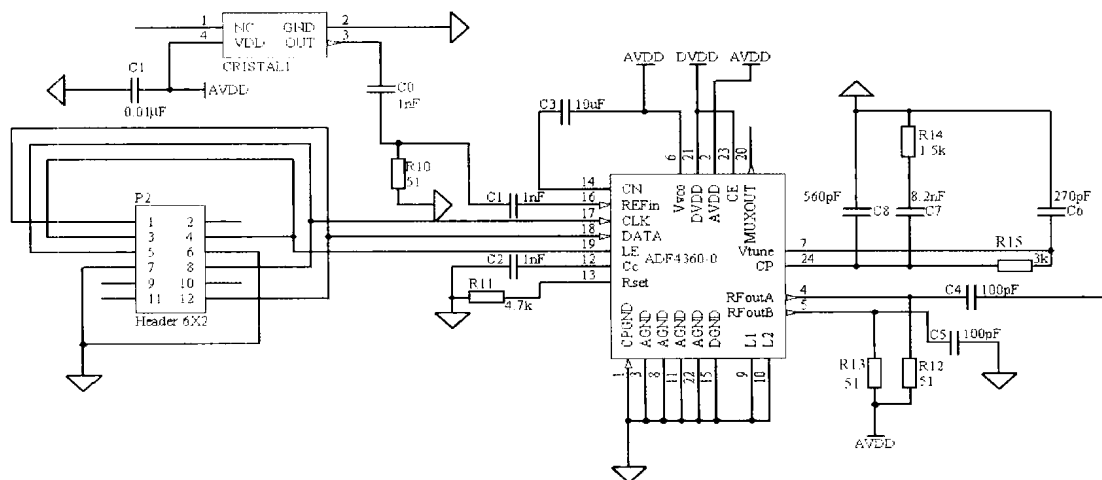


图 10 模拟下变频模块的 ADF4360-0 外围电路图

中频放大器同样采用来自 ADI 公司的 ADL5531。ADL5531 是一款宽带固定增益、线性放大器芯片，最高工作频率可达 500MHz。ADL5531 提供固定增益 20dB，并且不随频率、温度、供电电源的变化而变化，图 11 是其功能框图。ADL5531 的外围电路图如图 12 所示。

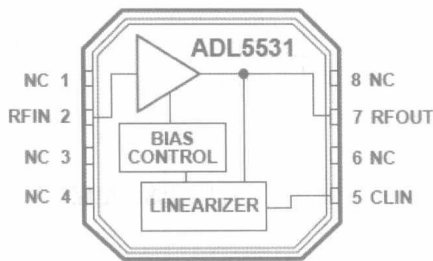


图 11 ADL5531 功能框图

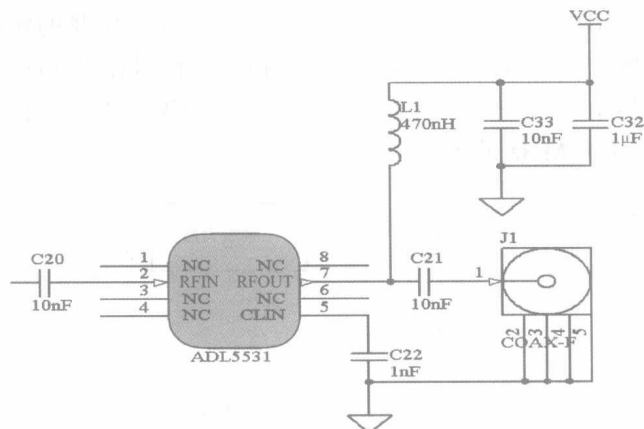


图 12 ADL5531 外围电路图

MAX2041 是 MAXIM 公司出品的一款高线性度、无源上变频/下变频混频器。RF 频率范围为 1700~3000MHz，LO 频率范围为 1900~3000MHz。MAX2041 不仅具有出色的线性度和噪声性能，还具有非常高的集成度。该器件包括一个双平衡无源混频器核、双输入 LO 选择开关和 LO 缓冲器，还集成了非平衡变压器，用于下变频器的单端 RF 输入（或上变频器的 RF 输出）以及单端 LO 输入的转换，如图 13 所示。

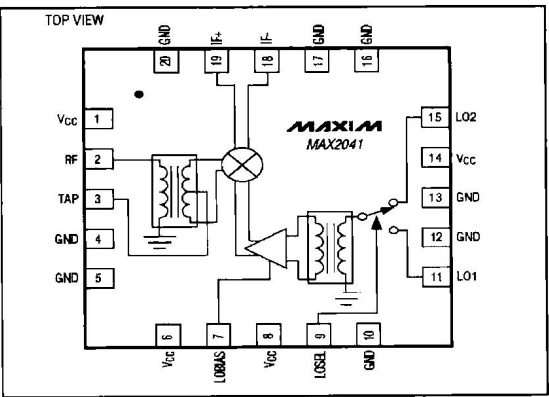


图 13 MAX2041 引脚配置图