Spring 2024

MOBI 摩比

投稿热线：0755-86186110-402　　投稿信箱：mobibao@mobi-antenna.com

总第067期

编委主任：周凌波
主　　编：徐 可
编　　委：王菲一　苏 婵　郭 娟　莫田静
设　　计：莫田静

开拓新思路扬帆新征程

—— 公司召开2024年度首次经营工作会议 ——

为全面总结2023年经营工作成效，深刻剖析经营工作中存在的问题，科学谋划2024年经营工作，3月中公司在江西吉安召开了2024年度首次经营工作会议，公司管理层、各事业部领导、各大区市场负责人等现场参加了此次会议。

会议首日，组委会组织参会人员参观了吉安公司车间，大家纷纷对吉安公司现场管理和发展提出了许多宝贵的意见。参观结束后，人事行政总监徐总为事业部以上领导进行了一场会议效率提升的培训。晚上，执行副总裁周总和公司参加了巴塞罗那电信展的市场负责人进行了交流，并对公司未来展会工作进行了寄语。

会议次日，2024年首次经营工作会议在美丽的吉安钓源十里芳菲召开。

执行副总裁周总率先为大家介绍了今年公司各项工作规划和目标，周总的介绍旨在总结过去经验，指明未来方向，面对新形势、新问题和新挑战，进行新一年工作的全面部署，确保全面完成2024年各项目标。

随后，射频/天线产品线、射频/天线研发、各市场营销大区、财务、运营、制造、供应链、战略赋能、质量、人事行政等职能部门针对2023年工作完成情况进行了复盘总结，并对2024年工作重点及方针目标做了详细解读和计划，大家纷纷表示将以全新的姿态迎接新一年的挑战，全力以赴冲刺目标。

董事长胡总在会议最后为大家致辞，胡总首先引经据典，为大家讲述了我党革命路上在江西的经典故事，通过这些生动的革命案例要求公司各级领导要学习老一辈革命家敢闯敢拼，百折不挠的革命精神。

面临新时期的内外环境，胡总对大家提出了以下的殷切期望：

首先要树立合规经营管理的观念。合规经营管理一定是公司的红线。销售、研发、生产、质量管控等各个环节，都在合规管理的范畴之内，管理干部尤其是重点，要重视内部的合规检查和管理工作。公司要走的长远，这是高压线，绝不可以触碰。

摩比各级领导要树立品牌意识。团队要培养和具有创新的态度和能力，要有核心的技术。要能够给客户创造价值和提供有质量保障的产品和服务；团队要有凝聚力，团队之间协同的效率要提高，要提升问题的解决速度和客户端表现；管理上要精益求精，不放弃任何0.1%的改善的机会；研发对自己的技术路径有规划，能为客户提供一个长期的价值和支持，为市场和客户提供长期的保障。

要坚持走产品全球化的道路。领导干部要开阔视野，充分利用公司的各种资源，系统性的做好策划工作，往海外走这条路要坚定不移。在拓展国际市场的过程中要谋求新的、适配市场需求的方式方法。每一次展会和客户的交流都是展示公司品牌和拓展市场的好机会。

持续提升管理效率。面对差距，我们要认真总结。缩小差距，这是管理层要做的事情。市场竞争非常激烈，但是企业不能用亏损换取销售规模。一年之计在于春，已经思考和定位的问题要举一反三，改变整个团队的管理风格，使团队形成一种优良的工作作风。

会议后，大家在胡总的带领下来到了古镇“忠節第”牌坊前进行合影留念。

本次会议是一场务实的会议，成功的会议。全体摩比人要坚守底线思维，增强危机意识，防范和化解前进道路上的各种风险，紧跟公司经营战略部署，上下联动、团结一致，集结兵力在市场上攻城拔寨、开疆拓土，坚定必胜的信心，砥砺奋进的决心，为推动公司高质量发展贡献经营力量！

（文：王菲一）

《稳经营，重发展，乘风破浪，扬帆起航》

—— 摩比2023年董事会在深圳顺利召开 ——

2024年3月22日，摩比发展有限公司在深圳以线上及线下结合的方式召开了2023年年度董事会、提名委员会、审计委员会及薪酬委员会，公司执行董事胡翔先生、周凌波女士和叶荣先生、非执行董事屈德乾先生、独立非执行董事张涵先生、李天舒先生和葛晓菁女士、财务总监吴倩女士、董秘刘荣先生以及审计师德勤出席了对应会议。

2023年，经济下行压力持续加大，国际局势复杂多变，地缘冲突、黑天鹅事件频发，外部大环境较为恶劣。基于多年的客户与产品积累，经过管理经营团队的不懈努力，公司的经营情况基本保持稳定，经营面得到大幅改善。各董事对摩比2024年的战略方向及业务前景提出了建议并表示对摩比未来的发展充满信心。

目前中国已经建成全球规模最大的5G网络，国内5G发展进入下半场，随着基础网络建设的全面铺展及优化，通信业将迎来持续的增长空间。同时，海外5G发展前景也依旧广阔。据TD产业联盟数据统计，截至2023年12月底，全球5G基站部署总量超过517万个，预计2025年全球将建有650万个5G基站。此外，5G时代产生了丰富的应用场景，多元化的产品需求预计也将带来广阔的市场空间，为了实现产业化转型升级，公司逐步打造“通信+新能源/节能”这条“第二增长曲线”，并在“通信+新能源/节能”领域实现了多个通信落地新场景。

公司凭借良好的产品技术、质量表现及客户沟通，一方面与国内主要运营商客户的相关合作界面不断扩宽和加深，并一直保持着国内设备商的主力供货商地位。另一方面，持续拓展海外运营商市场，不断进入各跨国与区域主要运营商的短名单；同时继续深化与国际设备商的战略合作关系。传统业务的不断夯实叠加新业务的持续拓展，相信将为公司未来销售管道的拓宽及业绩增长奠定良好的基础。

展望未来，公司将继续同步关注国内市场与海外市场，继续深耕在无线移动领域，专注无线系统业务与射频子系统业务等传统业务领域的同时，积极探索“5G+”垂直行业应用领域，并在节能、新能源等新业务领域持续发力、不断拓展。相信凭借着稳定的客户群、优秀的产品力以及领先的研发体系，将助力公司占据更多的市场份额，并迈入更进一步的发展阶段。

（文：陈艳君）

江西省工信厅党组成员、副厅长辛清华莅临摩比考察调研

3月29日，江西省工信厅党组成员、副厅长辛清华一行到吉安公司调研工业经济运行和数字化转型工作。调研组一行先是参观了一楼展厅，接着来到车间，看产品、聊工艺、问需求，期间吉安公司负责人史宝军向调研组进行了汇报。

摩比坚持创新发展，成为国际上首批5G天线产品研发并规模产业化的厂家，在 Massive mimo 大规模面阵天线技术、射频信号屏蔽技术、耦合校准技术、射频滤波技术、数字基带技术等全领域进行深度研究，积累了大量的5G原创技术。摩比自主研发的5G天线产品形态已经成为行业的主流形态，已被获批为省级企业技术中心、省级工程研究中心、市级工程技术研究中心。

辛厅长调研中指出，未来摩比要持续加大研发投入，不断提升并优化产能，走在产品迭代前沿，积极探索走出一条特色数字化发展道路，汲取养分壮大自己，带动配套企业集聚，形成良性循环，为江西省乃至全国移动通信技术发展做出贡献。

（文：袁 悦）

未来先行 | 摩比集团亮相2024 MWC

2月26日-29日，以“未来先行”为主题的2024世界移动通信大会(MWC 2024)在西班牙巴塞罗那正式开幕。作为全球盛会，移动通信和5G相关内容依然是MWC 2024的“主角”。

2024年是5G-A商用元年，作为一家致力于成为全球一流的移动通信射频技术产品供应商的企业，摩比集团也参加了此次盛会并展示了多款前沿天线产品。

其中，ECO+绿色环保天线凭借其卓越的性能，大幅提升了天线效率并优化了覆盖能力，为用户带来更为绿色、高效的通信体验。此外还特别推出了small cell天线，专为特殊场景设计，满足多样化的覆盖需求。

为满足不同场景和容量的需求，展出的多频多端口天线覆盖从2端口到30端口的灵活选择。同时，多波束天线技术也得到了显著提升，能够支持到8T8R应用场景，为复杂环境提供稳定的信号覆盖。对于4G+5G融合应用场景，摩比的TDD+FDD天线提供了强大的支持，实现了网络的高效协同。

展会上，众多世界各地客商均驻足摩比展台。

针对各类移动通信应用场景，摩比提供了全方位、全场景的解决方案，旨在为用户带来更为顺畅、高效的通信体验。

(文:王菲一)

《市场快讯》

100%份额中标【吉州区旧改项目公共空间照明设施路灯和楼道灯采购项目】，中标金额592.80万。

(文:钟 洁)

摩比吉安公司获评“江西省模范职工之家”

近日，摩比吉安公司荣誉墙上再添一块“新奖牌”——江西省总工会授予的“江西省模范职工之家”荣誉称号。

摩比作为区级产改示范点企业，在区总工会的大力支持下，于原有场地的基础上将职工之家进行重建。新的职工之家由健康书屋、心理咨询、健身中心等功能融为一体，配备精致舒适的沙发、各类书籍和健身器材，面向职工提供服务和活动场所，营造了温馨如家的工作氛围。

此次“省模范职工之家”荣誉的获得，不仅是对吉安公司工会工作的肯定，更是一种鼓励和鞭策。公司将继续秉承为全体职工服务的原则，积极开展多种形式的“职工之家”创建活动，充分发挥“职工之家”作用，进一步增强职工的归属感、获得感和幸福感。

(文:袁 悦)

奋勇争先 • 砥砺前行

—MOBI|2023年第四季度摩范—

同心共筑、感恩同行！每一个优秀的名字，总是与“努力、勤奋”同在。摩比的日益发展，离不开摩家人的积极配合。

为肯定员工成绩，调动大家的工作积极性和主动性，形成人人争当“摩范”、争做先进的良好氛围，摩比集团2023年第四季度优秀“摩范”颁奖活动分别在西安和吉安园区举行。旨在表彰先进，激励后进，树立榜样，并对所有优秀“摩范”称号获得者颁发荣誉，以激发员工爱岗敬业、团结拼搏的热情。

他们分别是来自西安园区射频生产部工段长吴柏杨，吉安园区工程技术中心设备工程技术部设备工程师林厚勤、自制件制造事业部电缆车间技术员刘春根。

他们恪尽职守，尽职尽力，与公司一路相扶相持，共同成长。在各自平凡的岗位上贡献力量，积极进取，是忠于职守的典范，是开拓进取的楷模，更是我们学习的榜样。

此次颁奖活动不仅仅是表达对优秀“摩范”的重视，同时通过颁奖表彰，增强了集体竞争力、激发员工热情，达到了鼓励先进，激励其它同事的效果。感谢全体摩家人用如火如荼的工作热情和真诚奉献，为摩比的发展做出贡献。

最后，再次对所有获奖者表示祝贺，期待下期“摩范”涌现出更多的优秀人才。

(文:莫田静)

树立过紧日子思想 增强勤俭节约意识

习近平总书记去年底提出关于“党和政府带头过紧日子”并作出了重要指示。紧日子体现的是为民情怀，是忧患意识，是传统美德，是优良作风。

作为企业，我们也要携起手来，全力营造浪费可耻、节约光荣的浓厚氛围，树立勤俭节约的新风尚，从自身做起，自觉成为“过紧日子、勤俭节约”的倡议者、宣传者和实践者。

一、我们为什么要学会过紧日子?

应对外部严峻的经济形势以及日益激烈的行业竞争，要提升企业自我造血功能，眼睛向内，深挖内潜，从自我做起。

节约光荣、浪费可耻是中华民族的优良传统和美德。

二、我们怎么做?

节约，是文明的底色，更是企业高质量发展最动人的旋律。作为摩家人我们该怎么做呢?一起来看看:

● 1、优化成本

√优化费用支出，减少不必要支出，如取消不必要会议、减少不必要差旅等;

√ 降低原材料和服务采购的成本;

√鼓励员工参与到“节约成本建议”的活动中来;

● 2、销售能力

√探索新的销售渠道和模式，降低销售成本;

√提供更好的销售服务，提高客户忠诚度;

● 3、加强创新

√建议创新激励机制，激发创新活力;

√保护创新成果，避免知识产权损失;

● 4、制度流程

√优化制度，将节能减排作为制度创新的要点之一;

√优化流程，减少不必要的流程，提升工作效率;

● 5、资源利用

√活用闲置资产，创造效益;

√活用废弃物料，变废为宝;

● 6、绿色低碳

√节电、节气、节水、节油等;

高效办公，无纸办公;

以上是节约意识的一些小tips，希望能得到全体摩家人们更多更好的提案并得以实施。

三、人心齐泰山移

公司各级管理干部、骨干员工应以身作则，在全员中树立以“勤俭经营”意识为统领、以“勤俭节约”为核心、持续“厉行节约”为习惯。

过紧日子的倡议是一种承诺，承诺务必践行。公司各部门要当好“铁公鸡”，打好“铁算盘”，有效提高资源配置效率和使用效益，把有限的资源用在刀刃上，全力保障公司经营目标的达成。

(文:王菲一)

微波滤波器的研究进展及未来发展趋势

Research Progress and Future Trends in Microwave Filters

摘 要：

作为频率筛选元件，微波滤波器一直是射频前端系统中最重要、最畅销的器件之一，其被广泛应用于变频器、接收机等各种模块中。该文从综合理论与设计技术两方面回顾了微波滤波器的发展历史，并介绍了国内外的研究现状以及本团队的主要研究成果。展示了基于先进制造材料与工艺的现代滤波器研究现状，进一步分析了滤波器在通讯系统中的发展趋势与存在形态，为面向未来的新一代微波器件设计提供参考。

关键词：

微波滤波器；滤波器综合；滤波器设计；通讯系统

引言

“整个世界就是一个滤波器”，这听起来很有趣，但在某种程度上这可能会成为现实。随着新一轮全球科技革命与产业变革的深入开展，通讯频谱资源日益紧张，通讯协议也日渐复杂，而作为频率筛选、抑制带外干扰与噪声的射频/微波滤波器一直是无线通讯系统中不可或缺的关键器件，并长期占据射频前端最大的市场规模。第五代移动通信（5G）技术是我国的重大战略发展方向之一，2021年又正式定义了5.5G（5G-Advanced）的技术规范，相对于5G增加了上行超宽带、宽带实时交互、通信感知融合能力。面向2030年智能世界，技术革新正驱动5G向6G技术进行升级与收敛，为满足广域覆盖以及超大传输带宽与超低时延传输的要求，与5G/6G融合的卫星互联网技术及低轨卫星星座的部署已成为我国“网络强国”建设的重大战略方向。为赋能其中的超大规模天线技术与微波毫米波一体化射频前端系统，基于5G/6G通信与低轨卫星载荷特征的新型微波毫米波滤波器的综合与设计将成为关键技术支持，从而推动天地一体、星空互联美好构想的实现。与此同时，新一代无线通讯系统也相应地对射频/微波滤波器提出了高集成度、紧凑度的严格要求，新一代高性能滤波器的研发因而成为了前沿布局的关键性领域。

本文从综合理论以及设计与制造技术两个方面总结了微波滤波器的研究现状与进展，并展望未来通讯系统中滤波器与其他器件的集成形式。

1 滤波器综合理论的研究与发展

网络综合是微波滤波器设计过程的理论基础与“指路明灯”，其过程为根据性能指标求得符合要求的传输与反射函数，再映射为具有指定网络拓扑的理想电路，旨在为进一步的电磁结构设计提供参考与指导。在二十世纪七十年代后，切比雪夫等传统滤波响应已无法满足高速发展的通讯系统要求，稀缺的频谱资源驱动滤波器设计在指定频率处引入传输零点，以增强阻带抑制，防止邻频串扰。为满足这一需求，滤波器网络的拓扑构型逐渐复杂，亟需先进的综合方法以指引复杂结构的设计。

自此，现代的滤波器综合理论快速发展起来，涌现出了与丰富的物理结构相对应的综合方法。

1.1 现代耦合矩阵综合理论的建立

在二十世纪七十年代前，滤波网络的综合通过集总电路元件的逐一提取完成。这一过程需要分析不同元件的提取条件，按照一定的次序依次抓取出组成级联网络的各个集总元件的参数值，从而完成整个滤波电路的综合。这一时期的滤波器还未引入有限频率的传输零点，仅通过级联更多的谐振器来提高边带滚降与阻带抑制，简单的直线型拓扑即可满足要求。进入七十年代后，拥挤的频带资源对滤波器的边带选择性与阻带抑制都提出了更高的要求，于是 J. D. Rhodes 教授首次提出了具有交叉耦合结构的折叠型滤波器拓扑结构用于传输零点的引入。同时，A. E. Atia 与 A. E. Williams 首次引入了“耦合矩阵”的概念与综合理论，但只适用于具有对称响应滤波器电路的综合。

直到 1999 年，R. J. Cameron 报告了可覆盖所有对称与非对称响应滤波器的“N×N”耦合矩阵综合方法 ，并于 2003 年创造性地推广为更简洁的“N+2”耦合矩阵综合理论。由于该综合方法具有极其简单的数学原理，且在编程中易于拓展到任意阶数与任意传输零点位置的电路，一经推出便受到了极大关注，并迅速取代了元件提取法，成为现代滤波器综合的主流方法。耦合矩阵是滤波器结构的抽象化表达，而耦合矩阵内含的谐振器之间的耦合关系可进一步抽象为网络拓扑图。图1所示的是六阶折叠型滤波器拓扑图、耦合矩阵及其同轴工艺物理实现的对应关系。标准的耦合矩阵电路由归一化谐振电容、频率不变节点电抗(FIR)和频率不变变换器(inverter)组成。此外，Cameron针对于常见的折叠型、三角型、四角型拓扑的综合观察、总结出了对应的一系列矩阵相似变换旋转次序与旋转路径，从而实现了拓扑间的快速互相转换。

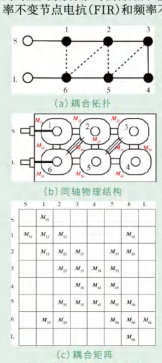
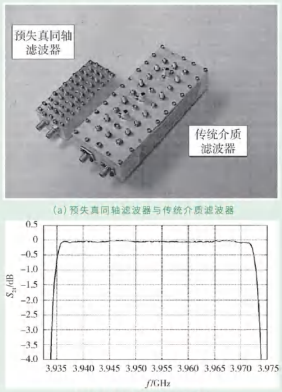


图1 某六阶折叠型滤波器

虽然耦合矩阵理论为滤波器设计提供了一个高效、统一的范式，但该模型中只使用固定类型的频率不变理想元件，且局限于少量标准拓扑，与物理实际间存在一定差距。因此，随着电磁软件与计算机技术的不断发展以及研究者对电磁世界认识的深入，滤波器综合正朝着更为精准地反映真实物理世界的方向发展。

1.2 有损滤波器综合理论

由于制造材料中不可避免地存在损耗，实际应用中的滤波器均为有损的。为了改善损耗导致的滤波器带内平坦度恶化，于明团队提出了自适应预失真技术。该技术预先将滤波函数的极点沿纯虚轴按照一定权重进行移动，从而提前补足损耗对幅频与相频特性带来的影响，在实现滤波器小型化的同时保持良好的带内平坦度（图2），并进一步讨论了如何对预失真滤波函数的反射零点进行选择以实现对称结构的问题。



(a) 预失真同轴滤波器与传统介质滤波器

(b) 预失真滤波器的带内平坦度
图2 预失真同轴滤波器

在此基础上，于明团队又在耦合矩阵中引入有损元件，为有损滤波器提供了解析的综合理论指导，通过合理牺牲绝对插入损耗以改善通带平坦度与边带选择性。与高品质因数滤波器相比，这种滤波器可在极小的体积内实现相同的带内电性能（图3）。

1.3 频变耦合综合理论

近年来，为反映真实物理世界的色散效应，简化滤波器拓扑结构，频变耦合被引入以丰富耦合矩阵的内涵，受到了极大关注。不同于常数耦合，频变耦合的耦合值 Mij 会随频率产生变化，一般用线性关系进行表示：Mij=Md·ω+ Mω0（ω 为归一化频率，Md 为频变斜率，Mω0 为中心频率处的耦合值）。频变耦合可以在更简洁的拓扑下引入更多的传输零点，提高滤波器的选择性与抑制度。2008年，频变耦合可产生传输零点的特征首次在国际微波大会上被论述，并在数学上证明了频变耦合与常数交叉耦合的等价性。2017年，在折叠型单元中正向综合频变耦合网络的矩阵旋转方法首先被报道。随后，频变耦合被推广到直线型和级联拓扑结构。另一方面，在同轴、波导、微带等多种工艺下都陆续成功实现了频变耦合。

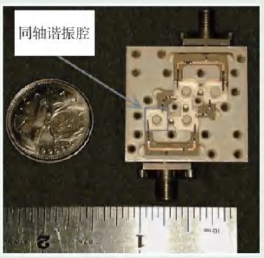


图3 同轴有损滤波器

1.4 非谐振节点综合理论

不同于常见的常数交叉耦合与频变耦合电路，非谐振节点结构为仅包含并联节点电纳而没有谐振器的节点（图4）。非谐振节点常用于实现直线型的滤波器布局、获得无负耦合的灵活电路结构。非谐振节点最经典的结构为直线拓扑的极点提取单元，其综合方法早期完全独立于耦合矩阵理论体系，采用网络 ABCD 矩阵或导纳Y矩阵提取的方式进行。于明团队首次将极点提取结构推广至广义极点提取单元，探讨了其综合的数学条件，真正实现了电路模型与物理结构的精准映射，推动了极点提取结构的实际应用。通过引入冗余电容来替代不可实现的理想传输线，团队进一步拓宽了极点提取滤波器的工作带宽。通过电路重构与等价缩放，极点提取单元被进一步应用于超陡滚降全零点（Fully Canonical）滤波器设计。最近逐渐出现了通过一定次序的耦合矩阵变换进行极点提取综合的研究。其他包含非谐振节点的经典结构，如单重态（singlet）与双重态（doublet）模块的综合也逐渐由等效电路变换向矩阵变换发展。

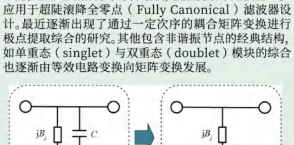
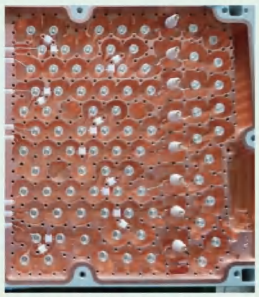


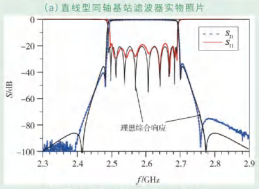
图4 谐振节点（电纳）与导（谐振器 C）与非谐振节点

1.5 物理限制下的非常规滤波器综合

上述的综合理论均采用了标准的广义切比雪夫滤波函数，其具有严格的等波纹通带。在其综合过程中，当滤波器阶数和回波损耗值确定时，研究者唯一可指定的是传输零点位置，随后反射零点位置即被等波纹条件唯一确定。然而，在实际应用中往往存在许多物理结构限制，而传统综合过程中已没有额外的自由度来满足这些多余的限制条件。实际应用中的滤波器只需要满足一定的回波损耗和抑制度要求，追求完美的滤波响应其实是不必要的。因此，若在综合中合理放松一定的数学要求，即可在物理结构与电性能之间折衷，实现整体性能最佳的滤波器设计。

直线型结构是工业应用中广受青睐的滤波器拓扑，其加工与调试更为简单，且可以实现更为紧凑的布局。本团队率先使用改进型的雷米兹（Remez）迭代算法，通过放松对反射零点必须位于纯虚轴上的限制，引入复反射零点实现了源/负载端悬挂二阶谐振器的直线型拓扑滤波器综合，并在同轴基站滤波器上获得了验证（图5）。

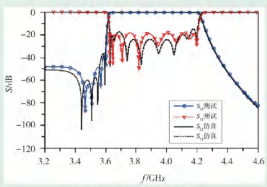

(a) 直线型同轴基站滤波器实物照片



(b) 直线型同轴基站滤波器的测试响应
图5 具有二阶悬挂谐振器的直线型同轴基站滤波器及其测试响应

无负耦合滤波器是加工制造中所期望的结构特征，其加工更为简单，且可避免负耦合探针面临的放电、温度漂移、振动等问题。本团队通过在综合中引入通带外的冗余谐振，在保证带内等波纹响应的同时，消除了三角拓扑中的负耦合，并可获得灵活的综合电路解以适配不同的设计指标要求，该理论在抗干扰C波段同轴滤波器上获得了验证（图6）。

(a) C 波段抗干扰滤波器实物照片



(b) C 波段抗干扰滤波器的测试响应
图6 无负耦合的 C 波段抗干扰滤波器及其测试响应

2 滤波器设计与制造技术的研究与发展

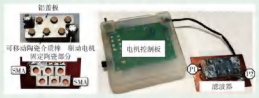
2.1 多通带与自适应可调滤波器

为了确保未来移动和卫星通信设备可在不增加尺寸的前提下与多频段技术兼容，我们正在进入一个多频段滤波器与自适应可调滤波器/多工器的新时代。

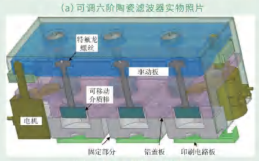
在机械调谐方面，最高效、最经济的单驱动同步调谐滤波器一直是一个重要的研究领域。图7是本团队开发的机械调谐陶瓷滤波器，其由电机驱动尼龙螺丝的移动进行频段切换，可实现可调范围内的恒定超陡滚降。对于平面滤波器，PIN 二极管、MEMS 变容器、铁电钛酸钡锶（BST）电容器是最常用的调谐元件，但仍面临功率容量、线性度和质量因子等方面的问题。近期又有文献报道了压电或铁电材料在可调滤波器中的潜在应用。

2.2 BAW/SAW 滤波器

智能手机、平板电脑和智能可穿戴设备数量快速增长的背后是体声波（BAW）和表面声波（SAW）技术的成功。BAW/SAW滤波器因其体积小（声波滤波器的体积通常比通讯前端设备的工作波长小五个数量级）、性能优的特点已成为移动通讯收发器的关键器件。4G/LTE, 5G甚至Wi-Fi 6E的到来使得对更高频率BAW/SAW滤波器的需求出现爆发性增长。据预测，从2020年到2025年，射频声波滤波器的出货量每年将翻一倍。根据使用频率、带宽、功率容量以及线性度的要求，工程师可以选择使用表面声波、温补声表面波（TC-SAW）、体声波以及薄膜体声波谐振器（FBAR）等工艺技术。SAW 技术的应用最早产生，但由于频率的升高将导致损耗的急剧增加以及可允许加工误差的降低，虽然目前其适用频率已经由最初的1GHz以下突破至3GHz，显然其工作频率仍受限。因此，更加适用于 1.6~3.5 GHz 的 BAW 滤波器逐渐进入人们的视野。最近，针对于声波谐振器与滤波器的等效电路建模与综合也开始引起研究者们的兴趣。如图8所示，通过综合声表面波-电磁混合结构滤波器，拓宽了滤波器的工作带宽，减少了插入损耗。鉴于BAW/SAW 滤波器广阔的应用前景，其有希望成为未来的热门主题。



(a) 可调六阶陶瓷滤波器实物照片



(b) 陶瓷滤波器结构截面图
图7 机械调谐陶瓷滑通滤波器

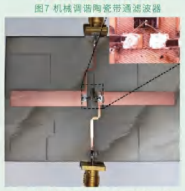


图8 混合结构宽频带声表面波滤波器

2.3 3D 打印技术

近年来，随着3D打印技术（增材制造技术）的发展，3D打印滤波器的关注度快速增长，已拓宽到了金属、介质以及聚合物等材料。运用3D打印技术制造出来的滤波器重量轻，不需要组装，而且可以制造传统机械加工中无法制造的非常规结构，从而反向推动了滤波器的结构创新，例如立体方形环谐振器、锥形谐振器、超椭球谐振器、蘑菇谐振器等（图9），这些新型的结构往往能带来更低的损耗和更远的杂散峰。

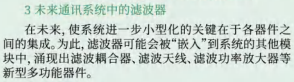


图9 基于3D打印技术的新型滤波器及滤波器结构

3 未来通讯系统中的滤波器

在未来，使系统进一步小型化的关键在于各器件之间的集成。为此，滤波器可能会被“嵌入”到系统的其他模块中，涌现出滤波耦合器、滤波天线、滤波功率放大器等新型多功能器件。

3.1 滤波耦合器

如图10所示，传统架构中一般将滤波器和耦合器进行级联，但显然会占据更多的空间和重量。因此，集功率分配与频率选择功能于一体的滤波耦合器是未来系统的发展方向。

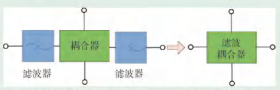


图10 从传统滤波器和耦合器级联架构到滤波耦合器集成架构

运用耦合矩阵理论帮助进行耦合器的拓扑设计以及网络特性分析，并进一步指导物理尺寸的设计，最终得到的耦合器可以具备高抑制的滤波响应。在文献中，四模介质谐振器首次被应用于窄带环形耦合器设计。通过调整馈电探针的位置，在实现耦合器耦合量和相位性能的同时，在紧凑的空间内实现了滤波响应。

3.2 滤波天线

传统方案中往往采用滤波器与天线级联，但这对天线的工作带宽提出了很高的要求，也不可避免地导致了更大的尺寸和插入损耗。因此，开发兼具滤波与辐射特性的滤波天线已成为当下的热门研究方向。

本团队又进一步将耦合矩阵理论用于滤波线天线的参数提取与辐射特性预测，从而为滤波天线设计提供半解析的指导。引入了频变耦合以描述在较宽频率范围内天线的辐射特性，并通过空间映射技术建立电路域粗糙模型，经过电磁-电路的协同仿真得到天线的最终尺寸参数。这一工作首次为任意阶数的滤波线天线的设计提供了一种可靠、确定的方法。

3.3 滤波功率放大器

不仅局限于无源器件，滤波器也可与放大器集成为滤波功率放大器。传统架构中需要分别独立设计放大器、匹配网络和滤波器，而新型的滤波放大器构造中滤波器可以代替输入输出匹配网络，从而减小插入损耗、减小体积、提升效率，对于毫米波与太赫兹应用具有重要意义 。

4 结语

本文从滤波器综合理论、滤波器设计与制造技术以及未来通讯系统中的滤波器三个方面对微波滤波器的国内外研究进展与发展趋势进行了梳理与分析。为了与物理实际形成更为精准的映射，综合理论逐渐丰富，并聚焦于反映真实的物理世界。由于频谱资源的日益拥挤，滤波器设计逐渐向多频方向发展。材料科学与加工技术的不断进步也推动了滤波器的革新。为满足系统对于小型化、低损耗的要求，多功能器件将成为重要趋势，滤波器频率选择功能有望集成于其他新型有源或无源器件中，为滤波器理论与技术的发展提供了新的机遇与挑战。

供稿人：王斌华
——来源《安全与电磁兼容杂志》

MOBI 摩比

责编/莫田静　校对/刘杨新风
投稿信箱:mobibao@mobi-antenna.com

Springs 2024

“欢度龙龙年，闹元宵、猜灯谜”

-- 2024年摩比元宵节活动回顾

火树银花合，星桥铁锁开
暗尘随马去，明月逐人来
在开往春天的列车上
我们迎来了
甲辰龙年元宵节

2月23日
“趣味猜灯谜，欢乐闹元宵”活动
在摩比三地园区同时展开
三地组织者精心布置了活动场地

猜灯谜、吃汤圆
让摩家人们在活动中放松心情
丰富了传统习俗知识
度过了一个别样的元宵节

三地园区现场
人头攒动、欢声笑语
处处洋溢着节日的气息
活动吸引了摩家人们的极大兴趣
大家积极兴致勃勃地猜着灯谜

猜中谜底的摩家小伙伴们
在领奖处兑取“盲盒”礼物
并在活动现场留下了开心的瞬间
其中不少同事
为大家送上了新年祝福和期待

除了现场参加的摩家人以外
还有在市场一线的各地员工
也为大家发来了他们的祝福
小小的“猜灯谜”活动
不仅仅营造了欢快祥和的节日氛围
更是承载着我们浓浓的人文关怀
彰显着摩比的团结自信
以及奋发进取的豪迈情怀
让我们一起继续努力
携手同行，奋发向未来

（文：王菲一）

“劳动启心智，实践砺成长”

-- 文星学校到我司开展社会劳动实践活动

（文：袁悦）

为提高学生劳动技能和实践水平，培养学生善于观察、善于发现、善于总结的意识，增强学生动脑和动手的能力，吉安市文星学校组织部分学生来到摩比吉安公司进行了一次别开生面的社会劳动实践活动。

同学们在工作人员的带领下首先参观了一楼展厅，接着同学们又来到生产车间，分组观看各流水线部件制作过程，体验工人流水线工作。公司从各个流水线派出优秀员工对各组学生进行指导，随后学生在各自对应岗位流水线进行了实践。此次社会劳动实践活动，增强了同学们的动手能力，培养了他们的合作精神，活动取得了预期的效果。

公司一直积极配合政府各部门和学校，希望通过多种渠道让学生深入企业参观学习，让学生尽早接触企业环境和文化，明确专业发展目标，实现校企资源的有机结合和优化配置，从而培养出社会发展需要的人才。

越过山川湖海，共赴春暖花开

——文：莫田静（插自网络）

四季春为首，春来万物生。
春天的到来，给了万物向上生长的力量。
长久以来，无数文人墨客会在此时提笔落墨，写下这个时节的温暖与希望。
接下来，让我们一起去名家笔下的春天里走走。去用心感受每一朵花开，去认真对待每一次日落。哪怕眼下的日子再失意，你也能笑对所有困苦，再爱一遍人间。

1 盼望着，盼望着，东风来了，春天的脚步近了。一切都像刚睡醒的样子，欣欣然张开了眼。山朗润起来了，水涨起来了，太阳的脸红起来了。
小草偷偷地从土里钻出来，嫩嫩的，绿绿的。园子里，田野里，瞧去，一大片一大片满是的。坐着，躺着，打两个滚，踢几脚球，赛几趟跑，捉几回迷藏。风轻悄悄的，草软绵绵的。
——朱自清《春》
写春的散文中，朱自清先生笔下的《春》，最为经典。
小时候初学这篇课文时，思绪会不自觉地跟着文字飘飞到树林，田野之外。如今再读才发现，当年吸引我们的，何止是那桃红柳绿，几树繁花。更让人念念不忘的，是那春天到来时，美好如约而至的喜悦。
朱自清千盼万盼，终于盼来了春天。
而我们如今也在期待中，与春天撞了个满怀。
很喜欢一句话：“如约而至，是个很美的词。等得辛苦，却从不辜负。”
也许，你也曾为了遇见一个人，做成一件事，等待了很久，至今仍没有结果。但不要着急，也不要悲伤，在命运的时区里，该来的，都在路上。
我们只需耐心地等待，便能顺着季节的更迭，迎来生命的花开。

2 春之乐，乃在“绿柳才黄半未匀”的新春。便是那忽晴、忽雨、乍暖、乍寒、最难将息的时候。
这时候实际生活上虽然并不舒服，但默察花柳的萌动，静观天地的回春，在精神上是最愉快的。
——丰子恺《春》
很多人爱春天，爱的是它的阳光正好，微风不燥。而在丰子恺看来，忽晴、忽雨、乍暖、乍寒的初春，虽处处不融洽，却也能让他感觉到愉悦。
《丰子恺：原所有遗憾都是成全》一书中写道：坦然面对生命的无常，接纳人生的不完美，方可身心开阔，自在欢喜。
在这个纷扰的时代，人人都在追求完美。
丰子恺则不然。
人生四季的缺陷，生活的失意坎坷，他都能欣然接受。正是因为如此，丰子恺才能只身走过那个动荡的年代，以童心入世，以佛心出世，活出了生命的另一种圆融，成就了一代文艺大师。
余秋雨说：“生命，是一树花开，或安静或热烈，或寂寞或璀璨。”
花开花落，月盈月缺，本就是世间常态。
与其一味地追求单调的完美，不如坦然地接受生命必然的缺憾。最高级的处世，莫过于以不同的经历，去丰富自己的人生。

3 你闻闻，空气里有青草和泥土的味道，春天就要来了。
——路遥《平凡的世界》
路遥的笔下鲜有岁月静好，但在《平凡的世界》里，他却写下了春天来临时绿意朦胧的希望。
在那片黄土大地上，因为有春天的存在，才有了绵延不断的生机。而那片土地上生活的人，也是因为心中存有希望，才能在人生的低谷里，一次又一次地重拾起生活的勇气。
行走于世，每个人都有自己的艰难和困境。
真正的强者，却从不会在苦难里沉沦，而是懂得去寻找生活的另一种美好。
风雪过后，小草会发芽，苦难会开花。
只要心存希望，穿过人生漆黑的隧道，便能等来黎明的曙光。

4 每个人都有春天。
无论是你，或者是我，每个人在春天里都可以有欢笑，有爱情，有陶醉。
——巴金《春天里的秋天》
如乎上有人问：“人为什么总是容易羡慕别人？”
有个高赞的回答是：“因为人们只喜欢追光，却不知道自己本身也是光。”
现实生活中，我们总能听到这样一番言论：孩子是别人家的好，日子是别人家的甜，工作也是别人家的轻松。仿佛这世间，欢乐都是别人的，苦难总是集中在自己身上。
但人之所以会有这种痛苦，不过是因为：只看到了别人的风景，却不知道自己也装饰了别人的梦。要知道，每个人身上，其实都有令人艳羡的闪光点。
你羡慕别人的自由，别人也许羡慕你的稳定；
你羡慕别人的婚姻，别人也许羡慕你的独身。
春风吹拂的是百花，春雨润泽的是万物。
在追求幸福的路上，你我都一样平等。
所以，何必要求自己去复制别人的生活。
走自己的路，种自己的花，你也能耕耘出一片属于自己的浪漫。

5 “跨过去，春天不远了，我永远不要失去发芽的心情。”
——林清玄《发芽的心情》
常言道，物随心转，境由心造。
世界的模样，往往就取决于你凝视它的眼光。
你若悲观消沉，自然愁云惨淡；你若看得清明，自然万物可喜，未来可期。
俗话说：“一念起，万水千山；一念灭，沧海桑田。”
生活的如意与否，全在你的一念之间。
只要不被糟糕的事情打倒，只要你永远葆有发芽的心情，那么人生的风雪再大，你也终将安然地抵达春天。

6 友人，让我们说：春天之所以美好、富饶，是因为它经过了最后的料峭。
——舒婷《初春》
英国作家张伯伦曾说过一句话：“除了通过黑夜的道路，人们不能到达黎明。”
就像春天未临之前，注定要先熬过漫漫寒冬。
每个优秀的人在成功之前，也必然会经历一段漆黑漫长的时光。
很喜欢莎士比亚的一句话：命运，它很可怕吗？不，我在与它斗争的过程才发现我已主宰了它。
每个人光鲜亮丽的背后，都有着不为人知的艰辛。如果此刻，你也跌落人生低谷，与其哀叹命运不公，不如像无数孤勇者一般，以苦难为墨，用生命作笔，书写出一个绝地反击的故事。
清代袁枚有诗云：春风如贵客，一到便繁华。
和煦的春风，带来了蓬勃的生机，和万里的花开。
在这个美好的时节，愿我们挥别过往，大步踏在春天的路上，目之所及皆是惊喜；愿我们摆脱内耗，不断经历，不断成长，行之所至必会是春暖花开。

《暮春四月，不负当下》

——摩比西安园区美景

（图：孙 星）