## 科技进步奖公示信息

**一、项目名称**

无线通信多功能集成滤波调控技术及应用

**二、提名者及提名意见**

（1）提名者：陕西省电子学会

（2）提名意见：由西安电子科技大学申报的“无线通信多功能集成滤波调控技术及应用”项目，针对军事和民用无线通信系统面临的复杂电磁干扰和高效频谱复用问题，揭示了微波滤波器与多工器的宽频与多频谐振耦合机理，提出了滤波器与多工器小型集成及智能调控方法，开发了系列化多功能集成滤波器与多工器，解决了自适应宽频带滤波、小型化高抑制滤波以及多频带滤波多工合成等技术难题，成功研制出大功率宽带电调滤波器及抗干扰多路耦合设备。该成果技术上有创新，实用性强，具有完全自主知识产权，已应用于大型舰载和机载平台国家重大装备和5G基站民用基础设施，对军事与民用无线通信滤波与多工集成领域的技术进步有重要作用，具有广阔的应用前景。

该项目成果材料齐全、规范、无知识产权纠纷，人员排序无争议，经审查，同意提名该项目参评陕西省科技进步二等奖。

**三、项目简介**

无线通信是构建万物互联的“桥梁”和“纽带”，在国防体系建设和国民经济生活中发挥基础性关键作用。无线通信的高速发展面临电磁干扰日益严重、频谱资源日益紧张等问题，严重影响无线通信质量和信道传输容量。滤波器件是无线通信系统的核心，可以抑制干扰，降低噪声，实现频谱复用。然而滤波技术的发展面临三大挑战：一是如何在高速跳频体制下实现宽域智能调谐；二是如何在高密空间布局下实现小型化高抑制，三是如何在多路协同复用下实现多频多工合成。这三大问题成为制约无线通信系统电磁兼容与频谱复用能力的瓶颈问题和研究热点。

项目组在国家自然科学基金青年和面上项目、陕西省创新人才推进计划等多个纵向项目支持下，揭示了无线通信微波滤波器与多工器的宽频带与多频带谐振耦合机理，提出了滤波器与多工器小型集成及智能调控方法，开发了系列化多功能集成滤波器与多工器等核心器件，解决了自适应宽频域滤波、小型化高抑制滤波、多通带多工合成等技术难题。主要技术创新点包括：

（1）建立了高速跳频体制下自适应宽频域集成滤波调控方法。针对跳频自适应滤波问题，提出高功率小型化电调谐振器模型，发明了低损耗宽带电调腔体滤波器，突破传统2倍频电调范围的限制，将VHF和UHF频段电调范围分别拓展到2.9倍频和2.2倍频。针对跳频多频谱滤波问题，提出奇偶模分离调控方法, 发明了双频电调四通带滤波器，实现恒定带宽的四通带双电调滤波器，解决多通带独立调谐和绝对带宽恒定设计难题。提出超宽带通信滤波器多带隙调谐方法，发明了超宽带三陷波可调滤波器，将滤波器带宽拓展到9个倍频程。

（2）突破了高密度空间布局下小型化高抑制集成滤波调控技术。针对空间受限小型化滤波问题，提出双层低损耗悬置带线谐振器模型，发明了折叠枝节交叉耦合滤波技术，相比同类指标产品尺寸缩减50%。针对横向受限高抑制滤波问题，提出消逝模介质谐振器传输零点调控方法，发明了介质谐振器横向位移交叉耦合滤波技术，解决了直线排列介质滤波器带外多零点抑制设计难题。建立单腔四模基片集成悬置带线滤波器模型，发明了混合电磁耦合滤波封装技术，实现直线型自封装基片集成滤波器同尺寸下带外抑制度提高20dB。

（3）突破了多频谱复用下多通带与宽带滤波信道多工合成技术。针对多信道多频谱复用问题，发明了枝节加载阶梯阻抗四通带双工器，构建了微带多枝节六通带三工器，解决平面多频谱多工合成难题。针对多信道宽带复用问题，发明了枝节加载双模宽带双工器，提出了嵌套双环宽带双工集成方法，相比相同类型滤波双工器带宽提升50%，解决小尺寸空间下多工器宽带设计难题。

本项目已发表期刊论文52篇，授权国家发明专利17项，登记软件著作权3项，5项发明专利转让军工企业。项目组与中电10所、中航637所、华为、中兴、国人、立讯等数十家行业领军单位签订技术开发和专利转化合同总额超1000万，创造直接经济效益超3000万。该项目研究成果已成功应用于国产航母抗干扰多路耦合器型号设备、机载和卫星宽带通信设备、民用4G和5G移动基站等国家重大平台和国民基础设施，对提升军事和民用无线通信系统电磁兼容和频谱复用能力发挥重要作用。

**四、客观评价**

（1）创新性同行评价

项目组在微波领域顶级期刊IEEE TMTT发表了双模双频滤波器、双模宽带滤波器、单双通带和三通带滤波器等创新工作， 3篇IEEE TMTT论文被SCI引用超过150次，获得多位院士、IEEE Fellow的正面引用和高度评价。

（2）项目审查与验收评价

项目组成员先后主持微波滤波器和多工器领域的国家自然科学基金青年和面上项目3项，分别于2012年，2016年和2019年顺利完成结题验收。

（3）主要应用单位评价

中国船舶重工集团公司第七二二研究所评价：“针对舰船超短波通信设备数量众多、天线布局困难等难题，提出自适应调谐宽带匹配多路耦合系统架构，突破了高功率小型化电调滤波、自适应宽带阻抗匹配、多路协同大容量通信等关键技术，研制了我国第一部舰船V/UHF抗干扰多路耦合器，技术指标达到国内领先水平。”

**五、应用情况**

本项目已获授权国家发明专利17项， 5项发明专利转让给知名军工企业。 项目组与中电10所、中航637所、华为、中兴、国人、立讯等数十家知名单位签订技术开发和成果转化合同，该项目研究成果已成功应用于大型舰船抗干扰多路耦合型号装备、机载和卫星宽带通信设备、5G移动基站等国家重大平台和基础设施，对提升军事和民用无线通信系统电磁兼容和频谱复用能力发挥重要作用。

**六、主要知识产权和标准规范等目录**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 知识产权类 别 | 知识产权具体名称 | 国家（地区） | 授权号 | 授权日期 | 证书编号 | 权利人 | 发明人 |
| 1 | 发明专利 | 一种小型化宽带电调腔体滤波器 | 中国 | ZL201710522165.9 | 2019年3月 | 3308678 | 西安电子科技大学 | **吴边，**郭泳欣，夏磊，徐扬，许梅 |
| 2 | 发明专利 | 悬置带线交叉耦合带通滤波器 | 中国 | ZL201610472280.5 | 2018年8月17日 | 3036837 | 西安电子科技大学 | **吴边，**薄晓东，夏磊，徐扬，郭泳欣, |
| 3 | 发明专利 | 基于枝节加载阶梯阻抗谐振器的四通带双工器 | 中国 | ZL201410181934.X | 2016年2月10日 | 1948666 | 西安电子科技大学 | **吴边，**张灵芝, 邱枫, 杨帅, 孙守家 |
| 4 | 发明专利 | 恒定带宽的电调双模双通带滤波器 | 中国 | ZL201210194324.4 | 2014年6月18日 | 1423658 | 西安电子科技大学 | **吴边，**付森，杨帅，张小艳，苏涛，龚建强，梁昌洪 |
| 5 | 发明专利 | 基于双层谐振器的电调四通带滤波器 | 中国 | ZL201510342002.3 | 2017年8月2日 | 2666634 | 西安电子科技大学 | **吴边，**刘津林，苏涛，赵勋旺，李龙 |
| 6 | 发明专利 | 一种带隙可调微带超宽带滤波器 | 中国 | ZL201310075472.9 | 2016年2月10日 | 1948289 | 西安电子科技大学 | **吴边，**张小艳，邱枫，孙守家，张灵芝 |
| 7 | 发明专利 | 2-18GHz超宽带三陷波可调微带滤波器 | 中国 | ZL201510342031.X | 2017年9月30日 | 2705323 | 西安电子科技大学 | 吴边，徐盼盼，苏涛，赵勋旺，李龙 |
| 8 | 发明专利 | 一种四模基片集成波导宽带滤波器 | 中国 | ZL201810073208.4 | 2019年5月6日 | 3422587 | 西安电子科技大学 | **吴边，**夏磊，樊炽，张楠，陈建忠 |
| 9 | 发明专利 | 一种耦合结构介质谐振器滤波器 | 中国 | ZL201810073932.7 | 2019年10月11日 | 3554411 | 西安电子科技大学 | **吴边，**夏磊，樊炽，王跃霖，陈建忠 |
| 10 | 发明专利 | 基于枝节加载双模谐振器的宽带双工器 | 中国 | ZL201410208599.8 | 2016年4月13日 | 2023283 | 西安电子科技大学 | 吴边，邱枫，张灵芝，林磊，邓坤 |

**七、主要完成人情况**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 姓名 | 排名 | 行政职务 | 技术职称 | 工作单位 | 完成单位 | 对本项目贡献 |
| 吴边 | 1 | 主任 | 教授 | 西安电子科技大学 | 西安电子科技大学 | 项目负责人，负责整个项目的研究方案、研究目标和研究内容的制订与组织实施。是主要知识产权第1-10项发明专利的第一完成人，对主要技术创新点中所列第1、2、3项发现均做出了创造性贡献。 |
| 苏涛 | 2 | 处长 | 教授 | 西安电子科技大学 | 西安电子科技大学 | 实现了大功率电调滤波器与多路耦合网络，提出折叠环双模微带滤波器双通带调控方法，发明了双层四通带滤波器多通带可调技术。是主要知识产权4，5，7项发明专利的共同完成人，对主要技术创新点中所列第1，3项发现做出了创造性贡献。 |
| 陈建忠 | 3 | 无 | 教授 | 西安电子科技大学 | 西安电子科技大学 | 开发了微波滤波器参数提取软件，推动了滤波器和多工器的产业化，发明了单腔四模基片集成波导宽频带滤波技术，构建基片集成悬置带线混合电磁耦合滤波器。是主要知识产权第8，9项发明专利的共同完成人，对主要技术创新点中所列第2，3项发现做出了创造性贡献。 |
| 李龙 | 4 | 副院长 | 教授 | 西安电子科技大学 | 西安电子科技大学 | 提出超宽带通信滤波器双带隙可调方法，发明了超宽带三陷波可调微带滤波器，突破超宽带滤波器带宽限制和多陷波可调技术。是主要知识产权第5，7项发明专利共同完成人，对主要技术创新点中第1项发现做出了创造性贡献。 |
| 梁昌洪 | 5 | 无 | 教授 | 西安电子科技大学 | 西安电子科技大学 | 作为团队首席指导了超短波抗干扰多路耦合器设备研制，参与了大功率电调滤波器与多路耦合网络技术攻关，提出了恒定带宽的电调双模双通带滤波器。是主要知识产权第4项发明专利的共同完成人，对主要技术创新点中所列第1项发现做出了创造性贡献。 |

**八、主要完成单位情况及创新推广贡献**

本项目的主要工作是由西安电子科技大学（西电）完成，项目研究内容初始工作就是在西电开展进行，所有完成人完成单位均是西电。此外，本项目从立项、实施到技术路线研究，西电都起主导性作用；由西电规划、设计和实施了本项目的微波滤波器与多工器的宽频与多频谐振耦合机理、调控方法、功能应用等多层次系统研究，提出了滤波器与多工器小型集成及智能调控方法，开发了系列化多功能集成滤波器与多工器，解决了自适应多频带滤波、小型化高抑制滤波以及多频带多工合成等技术难题，西电推动了项目成果应用于国家重大装备舰船抗干扰多路耦合器、实现了专利转让、技术开发和产业转化。

**九、完成人合作关系说明**

完成人吴边、苏涛、陈建忠、李龙、梁昌洪同为西安电子科技大学教师，具有共同知识产权。完成人梁昌洪是前4位完成人的博士生导师，指导研究方向和项目进展。吴边是10项发明专利的第一发明人，与苏涛、梁昌洪合作完成了1项发明专利“恒定带宽的电调双模双通带滤波器”，与苏涛、李龙合作完成了2项发明专利“基于双层谐振器的电调四通带滤波器”“2-18GHz超宽带三陷波可调微带滤波器”，与陈建忠合作完成了2项发明专利“一种四模基片集成波导宽带滤波器”“一种耦合结构介质谐振器滤波器”。吴边与苏涛、陈建忠、梁昌洪共同研制了大型舰船抗干扰多路耦合器型号设备，完成了多项国家和省级科研项目，并共同参与了华为、中兴、伊艾姆等企业合作项目，推动了微波滤波器和多路耦合器的成果转化和技术推广。