

# 微波电调带通滤波器的研究

李宏军

(电子工业部第十三研究所, 石家庄050051)

## 摘要

本文介绍了几种典型的微波电调滤波电路设计方法, 经研究设计并制作了一相对带宽 $<2\%$ 的电调带通滤波器, 改进型谐振器设计使该电路具有温度性能好、制作简单、可靠性高等优点, 并首次对该种电路进行了全波分析。

关键词: 微波 可调谐 滤波器

## Research on the microwave electronically tunable band-pass filter

**Abstract** Three typical methods to build a microwave electronically tunable band-pass filter are introduced. Based on the study of these methods, an electronically tunable band-pass filter with a bandwidth of 1.5% is built, which shows significant performance improvement on temperature stability, simplicity of manufacture and high reliability with a modified design of resonators. The result obtained through a full-wave analysis of the circuit is given for the first time.

**Keywords:** Microwave Tune Filter

## 1 引言

电调滤波器是宽带微波接收机以及电子对抗系统中的关键部件之一, 其性能指标的优劣直接影响整机性能。传统的YIG调谐滤波器在某些需要快速( $\mu\text{s}$ 级)调谐的场合是不适用的。因而, 以变容管为调谐元件的电调滤波电路得到了日益广泛的应用。然而在窄带( $<2\%$ )调谐情况下, 谐振元件尤其是变容管结电容的温度漂移严重影响电路性能, 因此必须在电路原理以及结构上精心设计并采取必要的补偿措施。本文介绍了作者在该领域研究工作中所涉及的三种最典型的电调滤波电路, 给出了一种采用悬置带线加介质补偿设计的L波段电调滤波电路的研制结果, 并首次提供了该电路的CAD全波分析数据。

## 2 常用的电调滤波电路

### 2.1 终端耦合电调滤波电路<sup>[1]</sup>

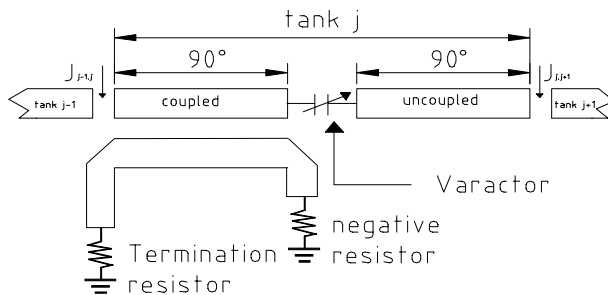


Fig. 1

如图1所示, 该电路是将 $\lambda g/2$ 谐振器(tank j)分为两段 $\lambda g/4$ 线, 并在中间引入变容管调谐以实现通带移动。为弥补窄带情况下很大的通带插损而引入了一段 $\lambda g/4$ 耦合线, 耦合线的一端接负阻发生器以抵消谐振器损耗电阻。该电路设计方法简单, 结构实现容易, 但在微波频率低端体积太大, 而且负阻补偿电路如设计不当会有不必要的振荡产生, 加之该电路存在二次寄生通带, 因而限制了其使用范围仅为较高微波频段(一般6GHz以上)且带外抑制要求不高的场合。

### 2.2 微带环行谐振器构成的电调滤波电路

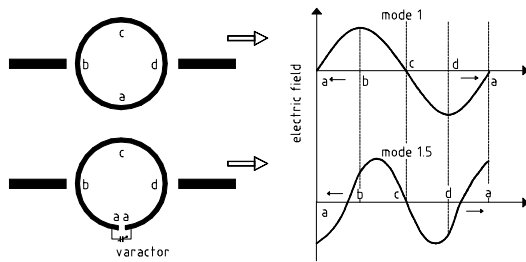


Fig.2

图2为一平均半径为R的微带环行谐振器，满足关系 $2\pi R=N\lambda_g$  ( $N=0, 1, 2, \dots$ ) 的频率将发生谐振。完整的以及于a点开缝后谐振环上电场分布图表明，开缝后环上的最低模已并非奇次模而是另一种新模式——

半模。于缝隙处引入一变容管即可实现由 $(N+1/2)f_0$ 往下至 $Nf_0$  ( $f_0$ 为基频) 的频率移动。为使谐振器体积最小同时也为了获得最大可能的通带移动范围，通常取 $N=1$ 即3/2模为调谐模式。此种电路结构紧凑，便于集成至MIC和MMIC中。然而，此结构具有偶次寄生模(最低为 $N=2$ )，同时在窄带情形下馈入及输出缝隙很大，加上谐振环Q值较低导致通带插损非常大，尽管许多有效措施诸如——

消除寄生模<sup>[2]</sup>、介质加载<sup>[3]</sup>等技术的采用使得该电路在性能上得到了一定的改善，但在需要窄带、宽移动范围电调滤波的场合仍未得到广泛应用。

### 2.3 梳状结构电调滤波器

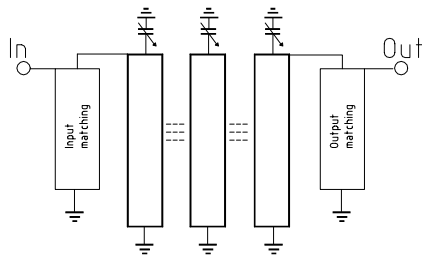


Fig.3

图3电路把由分布电感与集总电容组成的多个并联谐振器以磁耦合的方式连接起来达到滤波目的,并通过调整每个谐振器终端的可变电抗实现通带移动。理论推导可得出滤波器的绝对带宽 $\Delta\omega$ 与中心频率的关系<sup>[4]</sup>为:

$$\Delta\omega=2\omega_0 \tan(\theta_0) / [\alpha(\tan(\theta_0)+\theta_0(1+\tan^2(\theta_0)))]$$

式中以 $\theta_0$ 代替 $\omega_0$ 之后令 $d(\Delta\omega)/d\theta_0=0$ 可发现 $\Delta\omega$ 关于 $\theta_0$ 有一极大值点。故可设计各谐振器使之当电调滤波器工作在中心频率移动范围的中间值时满足 $d(\Delta\omega)/d\theta_0=0$ ，这样即可实现滤波器中心频率倍频程范围内移动而其绝对通带带宽变化最小(这在宽移动范围时是至关重要的)。另外，通过内部导纳电平变换技术可使该结构电路对1~40%带宽的滤波响应均能给出易于实现的物理尺寸。该结构传输线长度仅为 $\lambda_g/8$ (寄生通带远达4倍中心频率)，即便在L波段或UHF波段也能给出较小的电路体积。尽管该电路设计方法较前两种繁琐，但仍由于其相比于其他方案的诸许优点而在许多需要高性能、宽移动范围电调滤波电路的场合得到了非常广泛的应用。

## 3 研制结果

在对各种电调滤波方案深入研究的基础上，我所成功地研制了一为某重点工程配套的专用电调滤波模块。根据工程需要，此模块 $BW_{3dB}$ 仅为1.5%，工作温度为 $-55\sim+85^\circ\text{C}$ ，这对电路的温度及参数性能提出相当高的要求。为此，我们运用梳状电调滤波设计原理进行电路设计，并利用悬置带线结构的高Q及温度稳定性对电路进行具体实施。考虑到变容管温度性能为影响电路温度稳定性及插损指标的主要因素，我们在谐振电路中引入一个负温补偿电抗网络对变容管进行串并处理，极大程度地改善了模块温度性能，同时降低了电调滤波器对多个谐振器间变容管结电容一致性的要求，使得电路制作成本及调试难度大大降低。最终达到的主要技术指标如下：

- 1) 中心频率移动: 1338~1575MHz
- 2) 调谐电压: 4~18V(DC)
- 3) 3dB带宽: 17~20MHz
- 4) 中心频率插损:  $\leq 10\text{dB}$

- 5) 阻带衰减( $f_0 \pm 63\text{MHz}$ ):  $>33\text{dB}$  (低端40dB)
- 6) 工作温度:  $-55 \sim +85^\circ\text{C}$

由指标看出,该模块在调谐过程中绝对带宽基本恒定,并具有良好温度性能和较小的插入损耗(选用GaAs高Q变容管该指标可得到进一步改善)。该模块已通过各项考核试验,具有很高可靠性等级。超突变结变容管的选用可使其移动范围达500MHz,目前我所可提供530~1800MHz内分段覆盖的系列化电调滤波产品。

在以理论分析为基础进行设计的同时,我们还运用美国Ansoft 公司Serenade 7.5微波CAD软件对基于该理论的设计进行了全波分析与验证并得到了满意的结果。

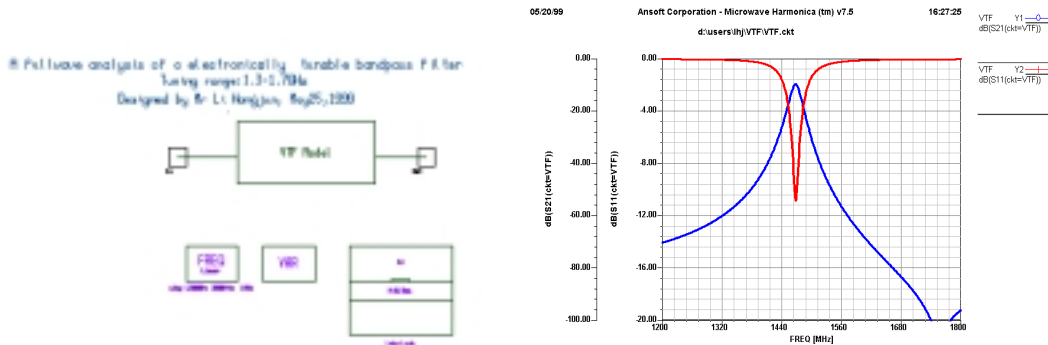


Fig.4全波分析模型及仿真结果

图4为对电路的全波分析仿真结果,滤波响应仿真曲线与实测(为清楚起见图中未画出)的颇为接近。该CAD辅助工具对于简化电调滤波电路的设计与制作以及缩短开发周期无疑会有很大帮助。

#### 4 结束语

电调滤波电路的种类还有很多,本文仅介绍了其中较为典型的三种,究竟采用何种方案需依整机要求而定。目前,为适应整机小型、数字化发展需要,电调滤波电路也正朝体积小、控制数字化迈进,而数控滤波将是另一种全新的设计理念,我所目前正致力于该领域的研究以填补国内该项产品的空白,预计99年底将有产品问世。

#### 参考文献 [略]

##### 李宏军

男, 1992年毕业于电子科技大学微波工程系电磁场与微波技术专业,现为电子工业部第十三研究所工程师,主要从事各种微波电路开发工作。

SUNSTAR 商斯达实业集团是集研发、生产、工程、销售、代理经销、技术咨询、信息服务等为一体的高科技企业，是专业高科技电子产品生产厂家，是具有 10 多年历史的专业电子元器件供应商，是中国最早和最大的仓储式连锁规模经营大型综合电子零部件代理分销商之一，是一家专业代理和分销世界各大品牌 IC 芯片和电子元器件的连锁经营综合性国际公司，专业经营进口、国产名厂名牌电子元件，型号、种类齐全。在香港、北京、深圳、上海、西安、成都等全国主要电子市场设有直属分公司和产品展示展销窗口门市部专卖店及代理分销商，已在全国范围内建成强大统一的供货和代理分销网络。我们专业代理经销、开发生产电子元器件、集成电路、传感器、微波光电元器件、工控机/DOC/DOM 电子盘、专用电路、单片机开发、MCU/DSP/ARM/FPGA 软件硬件、二极管、三极管、模块等，是您可靠的一站式现货配套供应商、方案提供商、部件功能模块开发配套商。商斯达实业公司拥有庞大的资料库，有数位毕业于著名高校——有中国电子工业摇篮之称的西安电子科技大学（西军电）并长期从事国防尖端科技研究的高级工程师为您精挑细选、量身订做各种高科技电子元器件，并解决各种技术问题。

微波光电部专业代理经销高频、微波、光纤、光电元器件、组件、部件、模块、整机；电磁兼容元器件、材料、设备；微波 CAD、EDA 软件、开发测试仿真工具；微波、光纤仪器仪表。欢迎国外高科技微波、光纤厂商将优秀产品介绍到中国、共同开拓市场。长期大量现货专业批发高频、微波、卫星、光纤、电视、CATV 器件：晶振、VCO、连接器、PIN 开关、变容二极管、开关二极管、低噪晶体管、功率电阻及电容、放大器、功率管、MMIC、混频器、耦合器、功分器、振荡器、合成器、衰减器、滤波器、隔离器、环行器、移相器、调制解调器；光电子器件和组件：红外发射管、红外接收管、光电开关、光敏管、发光二极管和发光二极管组件、半导体激光二极管和激光器组件、光电探测器和光接收组件、光发射接收模块、光纤激光器和光放大器、光调制器、光开关、DWDM 用光发射和接收器件、用户接入系统光收发器件与模块、光纤连接器、光纤跳线/尾纤、光衰减器、光纤适配器、光隔离器、光耦合器、光环行器、光复用器/转换器；无线收发芯片和模组、蓝牙芯片和模组。MRFXX、三菱 MOTOROLA、爱立信、ASI、富士通等军民用射频产品。惠普 Hp、安捷伦 Agilent 全系列高频放大管，微波集成电路 IC，混频管，PIN 管，肖特基管，MMIC，HEMT 等元器件。可能是惠普 Hp 安捷伦 Agilent 全系列产品现货最多，品类最全，价格最低的一家。竭诚为您服务，期待与你合作。长期以来真正坚持信誉第一，诚实为本！专业现货批发：Hp 惠普（Agilent 安捷伦 PHILIPSNEC、MOTOROLA、TOSHIBA、RFMICRO、HITTE、TYCO 等全系列高频放大管、射频管、微波集成 IC、PIN 管、混频管、肖特基管二、三级管等等。为 Hp 惠普 Agilent 安捷伦、PHILIPS 全系列国内经销商。欢迎索取免费详细资料、设计指南和光盘

商斯达微波光电网：[//www.rfoe.net/](http://www.rfoe.net/)

中国传感器科技信息网：[HTTP://WWW.SENSOR-IC.COM/](http://WWW.SENSOR-IC.COM/)

工控安防网：[HTTP://WWW.PC-PS.NET/](http://WWW.PC-PS.NET/)

消费电子专用电路网：[HTTP://WWW.SUNSTARE.COM/](http://WWW.SUNSTARE.COM/)

地址：深圳市福田区福华路福庆街鸿图大厦 1602 室 E-MAIL: [szss20@163.com](mailto:szss20@163.com)

电话：0755-82884100 83397033 83396822 83398585

传真：0755-83376182 83338339 邮编：518033 手机：(0)13902971329

E-MAIL:[xjr5@163.com](mailto:xjr5@163.com) MSN: [SUNS8888@hotmail.com](mailto:SUNS8888@hotmail.com) QQ: 195847376

技术支持: 0755-83394033 13501568376

深圳展销部：深圳华强北路赛格电子市场 2583 号 TEL/FAX: 0755-83665529 25059422

北京分公司：北京海淀区知春路 132 号中发电子大厦 3097 号

TEL: 010-81159046 82615020 13501189838 FAX: 010-62543996

上海分公司：上海市北京东路 668 号上海赛格电子市场 2B35 号

TEL: 021-28311762 56703037 13701955389 FAX: 021-56703037

西安分公司：西安高新开发区 20 所(中国电子科技集团导航技术研究所) 西安劳动南路 88 号电子商城二楼 D23 号

TEL: 029-81022619 13072977981 FAX:029-88789382