

文章编号:1001-893X(2012)03-0367-04

一种基于 ADS 的电调谐滤波器的新设计^{*}

王燕君

(中国西南电子技术研究所,成都 610036)

摘要:设计了一种用于跳频通信系统接收机射频前端的 UHF 频段电调谐滤波器。使用安捷伦公司的微波仿真软件 ADS 对电调谐滤波器进行结构设计和参数优化。对制成品的实际测试表明,该调谐滤波器工作频段为 225~400 MHz,3 dB 带宽 6.5~15 MHz,通带增益 24~27 dB,矩形系数小于 6.2,其性能指标完全达到设计要求,在不同的频点都具有良好的电参数指标。所提方法对电调滤波器的设计具有指导作用。

关键词:跳频通信;射频前端;电调谐滤波器;结构设计;参数优化

中图分类号:TN713 **文献标志码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1001-893x.2012.03.023

A New Design of Electrically Tunable Filter Based on ADS

WANG Yan-jun

(Southwest China Institute of Electronic Technology, Chengdu 610036, China)

Abstract: An ultra high frequency(UHF) band electrically tunable filter is designed for frequency-hopping(FH) communication system RF front-end. The electrically tunable filter's structure is designed and its parameters are optimized by Agilent's ADS software. The test of the product indicates that its operation band is 225~400 MHz, 3 dB band is 6.5~15 MHz, pass band gain is 24~27 dB, rectangle coefficient is less than 6.2. The electrically tunable filter meets the design requirements and it achieves excellent electrical characteristics for each frequency point. The proposed method is of guidance for the design of electrically tunable filters.

Key words: frequency hopping communication; RF front - end; electrically tunable filter; structure design; parameter optimization

1 引言

随着电子技术的飞速发展,各种军用、民用电子设备同时使用,电磁信号密集多样,工作频率相对集中,空间电磁环境越来越复杂。跳频技术由于其出色的保密和抗干扰能力不仅在军事通信中大显身手,较好地满足了现代战争提出的电子对抗与反对抗的要求,而在民用通信中也展示了良好的应用前景。应用在跳频通信系统中的电调谐滤波器是一种能快速跟踪频率变化的带通滤波器,它使调谐频率附近的信号顺利通过,而远离调谐频率的信号受到

较大幅度的衰减。这种调谐滤波器可有效地改善接收机的信噪比,并能有效地解决多部通信设备同时通信的干扰和电磁兼容问题。

本文运用 ADS 仿真软件,结合可靠的设计理论设计出了一种用于跳频通信系统接收机射频前端的 UHF 频段电调滤波器。该电调滤波器工作于 225~400 MHz 频段范围,电路要求其增益范围为 23~28 dB,3 dB 带宽范围为 6.5~15 MHz,矩形系数(30 dB/3 dB)小于 7。

2 电路结构设计与实现

该电调谐滤波器采用参差调谐回路的设计方

* 收稿日期:2012-01-04;修回日期:2012-03-14

法,参差调谐回路不同于级联的单调谐回路,级联单调谐回路的谐振频率是相同的,而参差调谐回路的各级单调谐频率分别比整个调谐回路的中心频率高或低 Δf_d ,参差调谐回路兼有单调谐回路电路简单、

易调整和双调谐回路频带宽、矩形系数好的优点,同时克服了单调谐回路频带窄、选择性差和双调谐回路电路复杂、调整困难的缺点。

图 1 是该电调谐滤波器的电路结构。

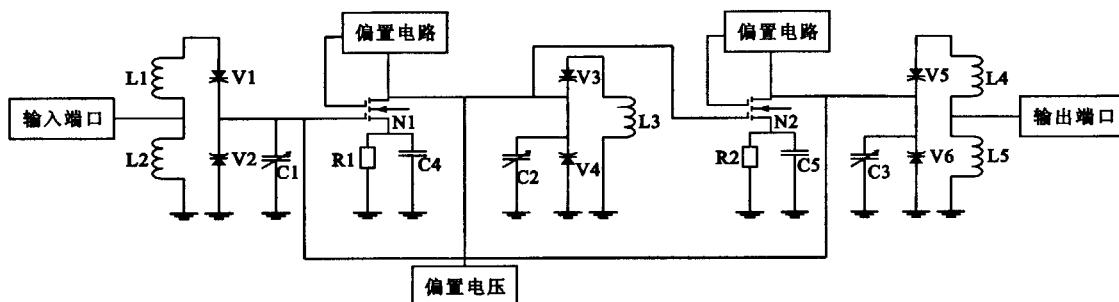


图 1 电调谐滤波器电路结构
Fig. 1 Circuit structure of the electrically tunable filter

考虑到系统对接收机高线性及高灵敏度的要求,电路结构设计时把调谐回路和可变增益放大器有机地结合在一起,共同完成选频放大功能,因此设计电调谐滤波器实际也相当于设计谐振放大器。

图 1 中,两级放大器位于接收机前端,尤其是第一级放大器,是整个接收机高线性和高灵敏度实现的关键所在。根据噪声系数计算公式,在电调滤波器之前的插损确定的情况下,放大器 N1 的噪声系数和增益基本确定了接收机的总噪声系数。本设计采用型号为 S888T 的双栅 MOSFET 场效应管作为低噪声放大器,该放大器工作频率为 100~1 300 MHz,频率为 400 MHz 时,增益 17 dB,噪声系数为 1 dB,当改变第二栅工作电压时,增益变化范围 40 dB。

基于接收机高选择性的要求,本设计采用三级调谐回路级联的电路结构,调谐回路采用变容二极管作为调谐元件,通过改变变容二极管的偏置电压改变谐振回路的电容值,从而方便地调节滤波器的中心频率。谐振回路中采用两只变容二极管背靠背的连接形式可以消除变容二极管产生的基频谐波,有效地减少交调失真产物。为提高谐振回路的有载品质因素,防止输入输出负载对谐振回路 Q 值的影响,谐振回路采用电感抽头部分接入的方法使之与前后回路进行阻抗匹配。

这里,变容二极管成为电路的核心器件,下面对变容二极管略做介绍。变容二极管是一种利用半导体的 PN 结电容随外加反偏电压变化而变化的原理制成的半导体二极管。图 2 给出了变容二极管的等效电路。图中, C_j 为结电容; R_s 为变容二极管的等效

串联电阻(包括 PN 结电阻、接线电阻和引线电阻),该电阻越大,变容二极管产生的损耗也越大; L_s 为引线电感; R 为反向电阻。在较高频率时,反向电阻 R 可忽略不计,等效电路简化为图(b)。在频率不高的情况下,串联引线电感 L_s 也可以忽略,电路进一步简化为图(c)。本设计中采用的变容二极管是飞利浦公司的 BB178,其变容值与偏置电压的关系如图 3 所示。

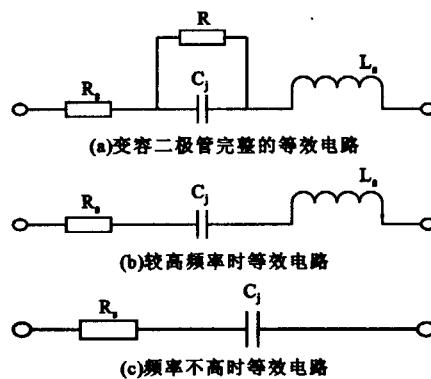


图 2 变容二极管等效电路
Fig. 2 Equivalent circuit of varactor

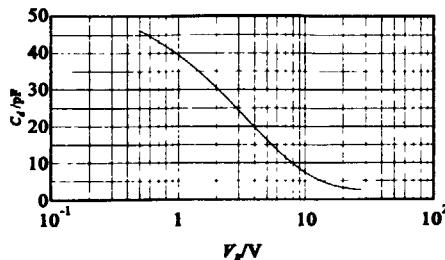


图 3 BB178 电容值与偏置电压的关系
Fig. 3 Diode capacitance vs. voltage

由图 3 可知,变容二极管的最大电容值和最小电容值分别为 46pF 、 2.7pF 。滤波器频率可调范围最大为

$$\sqrt{C_{\max}/C_{\min}} = \sqrt{46/2.7} = 4.12 \quad (1)$$

滤波器频率范围为

$$f_{\max}/f_{\min} = 400/225 = 1.78 \quad (2)$$

$$\sqrt{C_{\max}/C_{\min}} \geq f_{\max}/f_{\min} \quad (3)$$

由公式(3)可知,变容二极管 BB178 满足设计要求。

从图 3 中可看到,变容二极管的电容值随着直流偏置电压的增大而减小,由于谐振频率

$$f_0 = 1/2\pi\sqrt{LC} \quad (4)$$

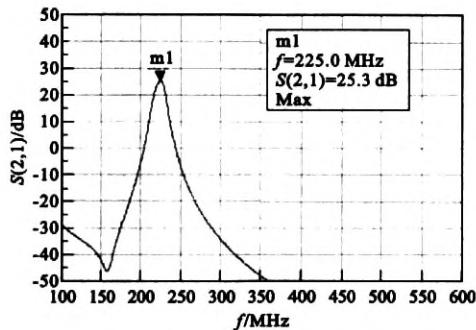
因此谐振频率随直流偏置电压的增大而增大。

为保证接收机的高选择性,选择电感时应选择

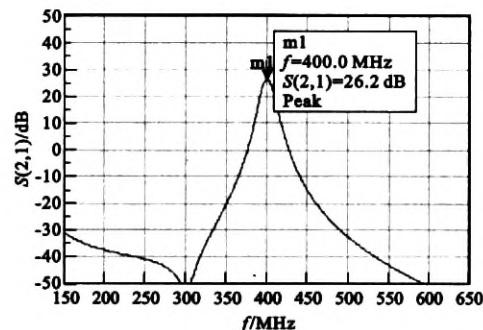
Q 值较高的,但是一般色环电感和贴片电感的 Q 值都较低,故本设计中采用漆包线绕制的线圈电感作为谐振电感。另外,通过调整线圈的疏密可方便调整 LC 回路的各项指标。

3 ADS 仿真和实测结果的分析

在理论分析的基础上,借助安捷伦公司的仿真软件 ADS 对图 1 所示的电路结构进行仿真,以提高设计效率和成功几率,降低调试时间。仿真前需要建立仿真模型和设计各种参数。首先把电感和电容的元件值代入相应的模型里,然后建立放大器和变容二极管模型,接着把双栅 MOSFET 放大器 S888T 和变容二极管 BB419 的 S2P 文件导入各自的模型里。图 4(a)、(b) 分别为中心频率 225 MHz、400 MHz 的 S21 仿真结果。



(a) $f_0 = 225 \text{ MHz}$



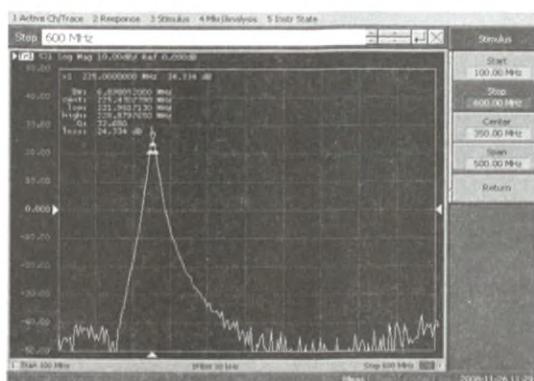
(b) $f_0 = 400 \text{ MHz}$

图 4 S 参数仿真结果

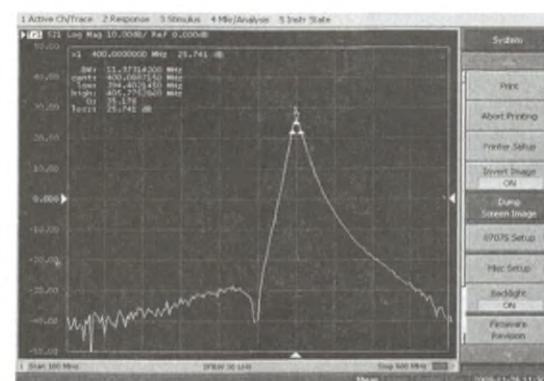
Fig. 4 S parameter simulation result

最后利用安捷伦公司的 E5061A 矢量网络分析仪对电调谐滤波器 S 参数进行测试, 图 5 (a)、

(b) 分别为中心频率 225 MHz、400 MHz 的测试结果。



(a) $f_0 = 225 \text{ MHz}$



(b) $f_0 = 400 \text{ MHz}$

图 5 S 参数实测结果

Fig. 5 S parameter test result

从图 4 和图 5 可看出,随着中心频率的升高,滤波器带内增益稍有增大,但矩形系数将变差。这主要是因为随着直流偏置电压的升高,变容二极管的结电容值 C_j 和串联寄生电阻 R_s 都将减小,电阻 R_s 的减小使滤波器增益有所增大。另外,由于电容减小的幅度大于寄生电阻减小的幅度,电路的平均储能与平均耗能的比值将下降,即电路的 Q 值降低,导致滤波器矩形系数变差。

电调谐滤波器仿真及实测结果如表 1 所示。

表 1 仿真及实测结果

Table 1 Simulation and test result

结果	增益/dB		3 dB 带宽/MHz		矩形系数 (30 dB/3 dB)	
	225 MHz	400 MHz	225 MHz	400 MHz	225 MHz	400 MHz
仿真结果	25.30	26.20	9.30	11.70	4.93	5.25
测试结果	24.30	25.70	6.90	11.40	5.94	6.14

由表 1 可看出,实测结果与仿真结果基本吻合,该设计较好地完成了电调谐滤波器的各项性能指标。但是由于实际电路中空心线圈寄生电阻的影响,以及测试电缆及转接头等因素的影响,导致实测结果的增益略低于仿真结果。另外,由于实际电路中变容二极管 Q 值较低,导致实测结果中矩形系数及带外衰减特性略差于仿真结果。因此,为使电调滤波器获得较好的性能指标,设计中应选择 Q 值较高、寄生电阻较小的空心线圈和变容二极管。

4 结束语

本文设计的电调谐滤波器具有体积小、功耗低、选择性好、不同的频点电参数一致性好等特点,同时较好地解决了插损和带宽之间的矛盾。目前,随着干扰和抗干扰技术的发展,跳频技术越来越受到人们的重视,除了军事领域的应用,跳频技术也向民用通信领域发展。现代新兴的通信方式要求采用能节约频带的技术,从而解决频带拥挤的问题。而跳频通信固有的窄带通信方式,可以和民用通信兼容,是提高频带利用率的有效途径。因此,跳频电调谐滤波器有着广阔的应用前景。随着跳频通信设备向宽

频带、高速率、数字化、低功耗的方向发展,跳频滤波器已显示出很好的发展前景。

参考文献:

- [1] 陈邦媛.射频通信电路[M].北京:科学出版社,2005.
CHEN Bang - yuan. Radio Frequency Communication Circuit [M]. Beijing: Science Press, 2005. (in Chinese)
- [2] 周兰飞,王璟,张玲.一种高频带通 LC 滤波器的设计方法[J].电讯技术,2008,48(6):82~85.
ZHOU Lan - fei, WANG Jing, ZHANG Ling. A Design Method of High Frequency Band Pass LC Filter [J]. Telecommunication Engineering, 2008, 48(6):82~85. (in Chinese)
- [3] 王康年.高频电子线路[M].西安:西安电子科技大学出版社,2009.
WANG Kang - nian. High Frequency Electron Circuit [M]. Xi'an: Xidian University Press, 2009. (in Chinese)
- [4] 彭小峰,雷李,张里.跳频接收机中调谐高放电路的设计[J].信息安全与保密,2007,25(1):93~95.
PENG Xiao - feng, LEI Li, ZHANG Li. Design of Tuning High Frequency Amplifier Circuit in the Frequency - hopping Radio [J]. China Information Security, 2007, 25 (1): 93~95. (in Chinese)
- [5] 王洪胜,柴旭荣,谢永斌.225~400 MHz 压控调谐滤波器的实现[J].电子对抗,2007(3):35~38.
WANG Hong - sheng, CHAI Xu - rong, XIE Yong - bin. Re-alization Approach of Voltage - controlled Tuned Filters of the Frequency Band of 225 MHz ~ 400 MHz [J]. Electronic Warfare, 2007(3):35~38. (in Chinese)
- [6] 林彬,张玉兴.电调谐 LC 滤波器的研究与设计[J].现代电子技术,2008,31(4):107~109,112.
LIN Bin, ZHANG Yu - xing. Study and Design of Electrically Tunable LC Filter [J]. Modern Electronic Technique, 2008, 31 (4): 107~109, 112. (in Chinese)

作者简介:

王燕君(1974—),女,山西祁县人,2009 年于电子科技大学获硕士学位,现为工程师,主要从事射频通信的研究。

WANG Yan - jun was born in Qixian, Shanxi Province, in 1974. She received the M. S. degree from University of Electronic Science and Technology of China in 2009. She is now an engineer. Her research concerns radio frequency communication.

Email:wyj_cx@sohu.com

微波滤波器设计培训——视频课程

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养，是国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地。客户遍布中兴通讯、研通高频、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们推出的微波滤波器设计培训专题，有资深工程师领衔主讲，课程既有微波滤波器设计原理的详细解释，也有各种仿真分析工具的实际设计应用讲解，设计原理和设计仿真实践相结合，向大家呈现各种结构的微波滤波器的完整设计流程。旨在帮助大家透彻地理解并实际的掌握各种微波滤波器的设计。



微波滤波器设计培训专题视频课程

高清视频，专家授课，中文讲解，直观易学；既有微波滤波器设计原理的详细解释，也有像 ADS、CST、HFSS 各种仿真分析工具的实际设计应用讲解，旨在帮助大家透彻地理解并实际的掌握各种微波滤波器的设计。

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/filter/>

更多专业培训课程：

- **HFSS 视频培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/>

- **CST 视频培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/>

- **天线设计专业培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/>

专注于微波、射频、天线设计人才的培养

易迪拓培训

官方网址: <http://www.edatop.com>

淘宝网店: <http://shop36920890.taobao.com>