

一款小型化具有滤波特性的Γ型天线设计

华阳, 韩超

(海军驻大连426厂军事代表室, 辽宁 大连 430000)

摘要: **目的** 设计一款适用于现代无线通信系统的小型化、具有滤波特性的Γ型天线。**方法** 采用类似滤波器综合的方法设计这款滤波器天线, 由二个发夹型谐振器、一段耦合线和一个Γ型天线组成, 其中耦合线不仅起着连接天线与发夹性谐振器的作用, 还起着导纳变换器的作用。因此Γ型天线在起辐射作用的同时也是滤波器的一个谐振器。**结果** 采用这种设计不仅减小了滤波器与天线集成设计的尺寸, 也使两者的信号传输损耗更小。**结论** 该滤波器天线在反射系数 <-10 dB的阻抗带宽有6.5% (2.38~2.54 GHz), 通带外增益快速下降, 在2.15 GHz和2.75 GHz处增益分别为-15 dBi和-25 dBi。

关键词: 滤波器天线; Γ型天线; 发夹型谐振器

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2018.07.009

中图分类号: V19 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2018)07-0040-04

Design of Small Γ-type Antenna with Filtering Characteristic

HUA Yang, HAN Chao

(Military Representative Office of the 426 Navy in Dalian, Dalian 430000, China)

ABSTRACT: Objective To design a small Γ-type antenna with filtering and miniaturization characteristics for modern wireless communication system. **Methods** This antenna with filtering characteristic was designed of two hairpin resonators, a coupling line and a Γ-type antenna through a method which is similar to filter synthesis. The coupling line not only played a role of connecting antenna with hairpin resonator, but also a admittance converter. So this Γ-type antenna was a resonator of the filter as well as the radiation. **Results** This design not only reduced the size of the integrated design of the filter and the antenna, but also made the signal transmission loss smaller. **Conclusion** The impedance bandwidth of the filter antenna is 6.5% (2.38-2.54 GHz) with the reflection coefficient <-10 dB. Outside the pass band, the gain decline rapidly. The gain at 2.15 GHz and 2.75 GHz gain is 15 dBi and -25 dBi respectively.

KEY WORDS: filter-antenna; Γ-type antenna; hair-type resonator

在过去的数十年中,无线通信领域已经经历了革命性的发展,越来越要求无线通信系统具有小型化、低损耗、抗干扰性强等特点。因此,将无线通信系统射频前端,两个尺寸较大的无源器件——天线和滤波器,集成设计为一个模块,同时具备辐射和滤波特性就显得特别重要。

现已有一些关于滤波器与天线集成设计为一个模块的文献^[1-4]。文献[1]中,在喇叭天线和波导馈线

之间引入Ω型金属结构后,喇叭天线获得了滤波特性;在文献[2]中,在微带天线引入短路探针后,使微波天线出现了具有传输零点的滤波特性;在参考文献[3]和[4]中,在滤波器和天线之间引入阻抗变换结构,也获得了滤波特性,但是新引入的阻抗变换结构增加了整个模块的复杂性,也使模块的质量、尺寸和损耗更大。在这些文献中,虽然通过引入不同的结构,使天线获得了滤波特性,但是在设计中没有使用综合设

计方法，也没有考虑滤波器或天线的特性，因此这些方法并不具备通用性。近年来，综合设计方法慢慢引入到滤波器和天线集成设计中^[5-10]。天线具有较好的带外抑制特性，但是尺寸仍然比较大。

文中设计了一款小型化的具有滤波特性的 Γ 型天线。利用综合设计方法，将二个发夹型谐振器、一段耦合线和 Γ 型天线集成设计为具有滤波特性的 Γ 型天线。该设计中 Γ 型天线按照滤波器谐振器要求进行设计，从而取代滤波器最后一个谐振器形成滤波器天线，这样 Γ 型天线不仅起辐射作用，同时还是滤波器的一个谐振器。这样极大缩减了滤波器与天线集成设计的尺寸和传输损耗。给出了该滤波器天线设计和仿真结果，结果显示，滤波器天线具有好的滤波器性能和辐射特性。

1 滤波器 Γ 型天线设计

在开展滤波器与微带天线集成综合设计之前，首先需要综合设计一款三阶发夹型滤波器，如图 1 所示。利用滤波器综合方法设计一款 0.1 dB 等波纹和在 2.45 GHz 阻抗带宽为 8.6% 的三阶切比雪夫带通滤波器^[11]。谐振器间的耦合系数为 $M_{12}=M_{12}=0.0791$ ，输入/输出端的外部品质因数为 $Q_{ext,1}=Q_{ext,2}=12$ 。该滤波器印制在厚度为 0.6 mm、介电常数为 2.65 的介质板上。

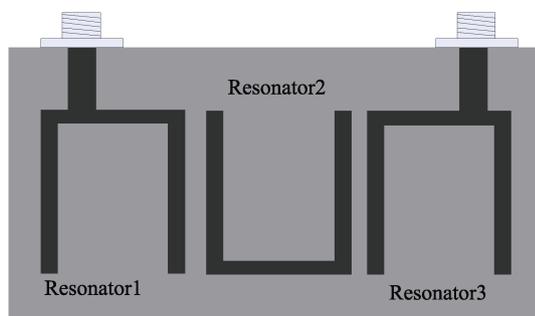


图 1 三阶滤波器

图 2 所示的滤波器天线由二个发夹型谐振器，一段耦合线和 Γ 型天线组成。这种集成设计中，在滤波器和天线之间不需要引入额外的阻抗变换结构。因此，在滤波器和天线之间基本上没有损耗，同时尺寸也得到极大的缩减。为实现天线与滤波器的集成设计，且天线还作为滤波器的一个谐振器，因此天线的品质因数应满足滤波器要求，天线的品质因数可通过式 (1) 计算^[12]：

$$Q_A = \frac{w_0}{2\text{Re}(Z_{in}(w_0))} \frac{d(\text{Im}(Z_{in}))}{dw} \Big|_{w=w_0} \quad (1)$$

式中： Z_{in} 为天线馈电点处的输入阻抗； ω_0 为天线谐振频率。天线的地板尺寸为 32 mm × 40 mm。天线的谐振频率由 Γ 型天线总长度 $x_1 + x_2 + x_3$ 决定。天线的总长为 27 mm，大约为中心频率 2.45 GHz 所对

应波长的 1/4。 Q_A 取决于水平带线的长度 x_1 ，这是因为天线电流主要分布在水平带状线上。最终 x_1 ， x_2 和 x_3 的长度分别为 10，13.5，3.5 mm，此时天线的 $Q_{ext,1}=Q_{ext,2}=12$ 。

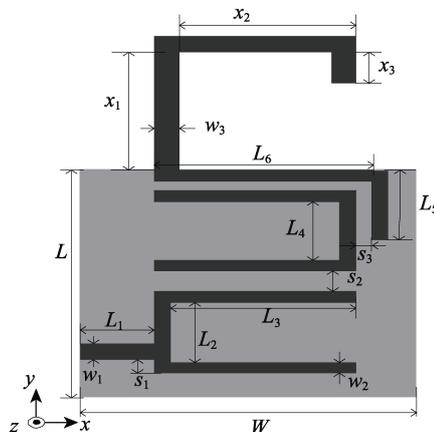


图 2 集成三阶滤波器天线

为了连接 Γ 型天线和发夹型谐振器，设计了耦合结构，它起着导纳变换器的作用。根据天线与滤波器谐振器的具体结构，选择平行耦合双导线结构作为耦合结构。耦合结构及其等效电路如图 3 所示。

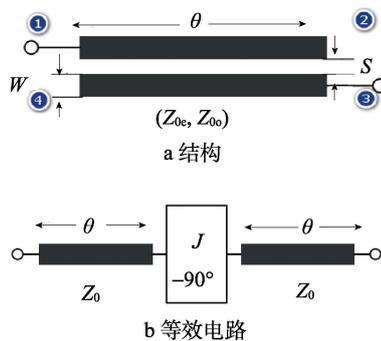


图 3 平行耦合结构

利用奇偶模分析法对平行耦合结构进行分析。为了使两种结构有相同的电性能，耦合线与其等效电路的 $ABCD$ 矩阵应该相等。对于耦合线可以先写出 Z 矩阵，利用 Z 矩阵和 $ABCD$ 矩阵的关系求得 $ABCD$ 矩阵。等效电路的 $ABCD$ 矩阵可以通过三个矩阵相乘的形式得到（等效电路里的微带线、导纳变换器与微带线对应的 $ABCD$ 矩阵）^[13]。让耦合线与等效电路的 $ABCD$ 相等，在电长度 $\theta = \pi/2$ 时，可以推出如下关系：

$$\begin{aligned} Z_{0e} / Z_0 &= 1 + JZ_0 + (JZ_0)^2 \\ Z_{0o} / Z_0 &= 1 - JZ_0 + (JZ_0)^2 \\ JZ_0 &= 2FBW\theta / \sqrt{C_1 C_2} \end{aligned} \quad (2)$$

式中： C_1 和 C_2 为低通原型滤波器元件值； Z_{0e} 和 Z_{0o} 为奇模和偶模阻抗。在给定 Z_0 的情况下，可求得平行耦合线的物理尺寸。耦合线的长度 (L_5+L_6) 大约为

中心频率 2.45 GHz 波长的 1/4。耦合线的线宽和线间距分别为 0.5 mm 和 0.4 mm。

集成的三阶滤波器天线的等效电路如图 4 所示。可以看出,天线起谐振的同时还起辐射作用,平行耦合线等效为导纳变换器,将谐振器与天线相连。除此之外,图 3 也给出了用于与滤波器进行集成的 Γ 型天线结构与尺寸。用于仿真软件 HFSS 17 进行优化设计,最终优化好的尺寸见表 1。

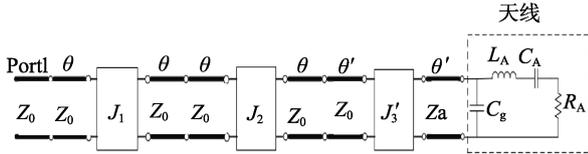


图 4 集成三阶滤波器天线等效电路

表 1 结构参数 mm

参数	W	L	w_1	s_1	L_1	w_2	s_2	L_2	L_3
数值	40	32	1.64	2.55	12	0.5	0.9	11.3	15.35
参数	w_3	s_3	L_4	L_5	L_6	x_1	x_2	x_3	
数值	1.24	0.4	11.7	7.7	16.25	10	13.5	3.5	

2 仿真结果

使用 HFSS 17 对优化设计好的滤波器天线进行仿真分析,图 5 给出了滤波器天线仿真反射系数和增益曲线。在整个频带内,仿真反射系数在 -10 dB 以下,仿真带宽为 6.5% (2.38~2.54 GHz)。图 5 还给出了仿真增益随频率变化曲线,可以看出,滤波器天线在通带内增益变化很平缓,最大差异为 0.92 dB;在通带外增益快速下降,在 2.15 GHz 和 2.75 GHz 处增益分别为 -15 dBi 和 -25 dBi,这说明滤波器天线具有良好的带外抑制特性。图 5 为滤波器天线在 2.45 GHz xz 面和 xy 面的仿真方向图。 xz 面的方向图几乎是全向的,其最大增益为 2.19 dBi。

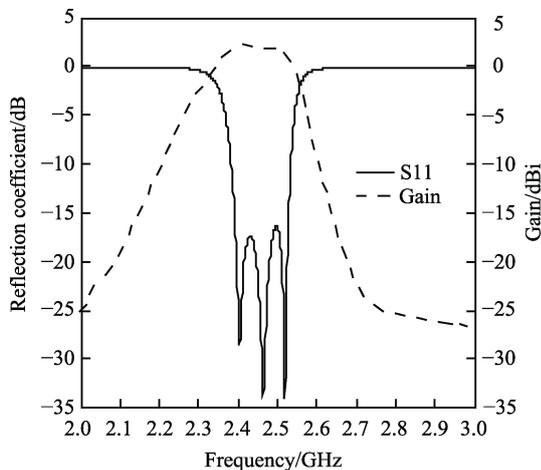


图 5 滤波器天线仿真与测试反射系数与增益曲线

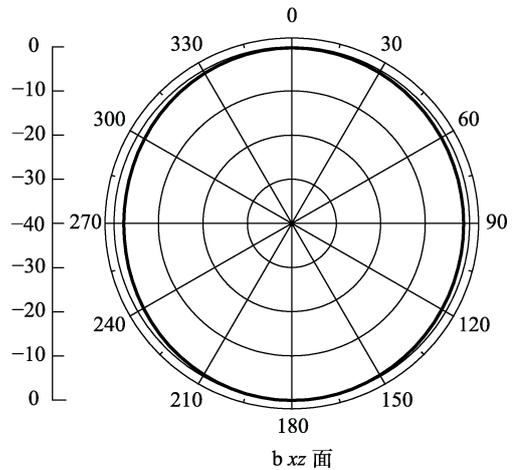
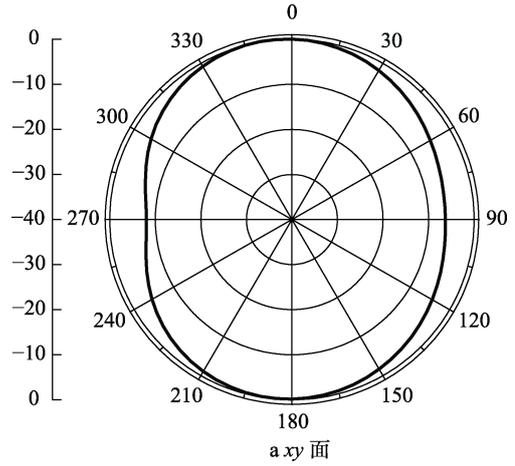


图 6 滤波器天线仿真方向

3 结论

利用综合设计方法设计了一款小型化的具有滤波特性的 Γ 型天线。一段 1/4 波长的耦合线作为导纳变换器,用于连接 Γ 型天线和滤波器发夹型谐振器,这样 Γ 型天线在起辐射作用的同时也是滤波器的一个谐振器。设计的滤波器天线具有类似传统带通滤波器一样良好的频率选择特性,通带内天线增益变化平缓,带外具有较好的抑制特性。滤波器天线电性能展现出良好的滤波和辐射特性,很适合用于现代无线通信系统的射频前端。

参考文献:

[1] BAILEY M C. A Stacked Patch Antenna Design with Strict Bandpass Filter Characteristics[J]. IEEE Antennas Propag Soc Int Symp, 2004(2): 1599-1602.

[2] BILOTTI F, PALMA L D, RAMACCIA D, et al. Self-filtering Low-noise Horn Antenna for Satellite Applications[J]. IEEE Antennas Wireless Propag, 2012, 11(1): 354-357.

[3] Troubat M, Bila S, Thévenot M, et al. Mutual Synthesis of

- Combined Microwave Circuits Applied to the Design of a Filter-antenna Subsystem[J]. IEEE Trans Microw Theory Tech, 2007, 55(6): 1182-1189.
- [4] WU W J, ZUO S L, HUANG X M, et al. Compact Dual-band Loop-loaded Monopole with Integrated Band-select Filter for WLAN Application[C]// Antennas, Propagation & EM Theory (ISAPE), 10th International Symposium. 2012.
- [5] NOVA O A, BOHÓRQUEZ J C, PEÑA N M, et al. Filter-antenna Module Using Substrate Integrated Waveguide Cavities[J]. IEEE Antennas & Wireless Propagation Letters, 2011, 10(1): 59-62.
- [6] CHUNG S J, WANG H N. Compact Multi-function Antennas Designed Using Filter Synthesis Technique[C]// Microwave Conference (EuMC), 42nd European. 2012.
- [7] LIN C K, CHUNG S J. A Compact Filtering Microstrip Antenna with Quasi-elliptic Broadside Antenna Gain Response[J]. IEEE Antennas & Wireless Propagation Letters, 2011, 10(10): 381-384.
- [8] ZUO S L, WU W J, ZHANG Z Y. A Simple Filtering-antenna with Compact Size for WLAN Application[J]. Progress In Electromagnetics Research Letters, 2013, 39: 17-26.
- [9] ZHENG S Q, DENG F, WANG D D, et al. Overview of the HPM Field-circuit Integrated Protection Methods for Electronic Equipment and System RF-channels[J]. Chinese Journal of Ship Research, 2015, 10(2): 7-14.
- [10] CHEN L, CHEN X M, CHEN Q, et al. Design of Band-pass Miniaturized Frequency Selective Surfaces Composed of Non-resonant Elements[J]. Chinese Journal of Ship Research, 2015, 10(2): 84-88.
- [11] HONG J S, LANCASTER M J. Microstrip Filters for RF/Microwave Applications[M] New York: Wiley, 2001.
- [12] YUSUF Y, GONG X. Compact Low-loss Integration of High-Q 3-D Filters with Highly Efficient Antennas[J]. IEEE Transactions on Microwave Theory & Techniques, 2011, 59(4): 857-865.
- [13] CHUANG C T, CHUNG S J. Synthesis and Design of a New Printed Filtering Antenna[J]. IEEE Transactions on Antennas & Propagation, 2011, 59(3):1036-1042.