

The Resonance Principle and Designing Method of Multi-Bands Microstrip Antenna with Branch Shape*

Xiliang Peng, Xingchang Wei

Department of Information and Electronic Engineering, Zhejiang University, Hangzhou

Email: weixc@zju.edu.cn

Received: Oct. 16th, 2013; revised: Nov. 8th, 2013; accepted: Nov. 11th, 2013

Copyright © 2013 Xiliang Peng, Xingchang Wei. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. In accordance of the Creative Commons Attribution License all Copyrights © 2013 are reserved for Hans and the owner of the intellectual property Xiliang Peng, Xingchang Wei. All Copyright © 2013 are guarded by law and by Hans as a guardian.

Abstract: In this paper, a kind of three-bands microstrip antenna composed of three branches was designed. Also, the S11 parameters of the antenna were simulated and measured. After that, the relationship between the dimension of antenna and the resonance frequency of antenna was analyzed by scanning the dimension parameters. At the same time, the results of dimension scanning were explained by analyzing the distribution of surface currents on the antenna. In order to gain larger attenuation in stopband than the antenna with three branches, an antenna composed of four branches was designed and its S11 parameters were simulated and measured. Then, an antenna occupying smaller dimension than the above antennas was proposed and the principle of widening its frequency bandwidth was stated. In the end, the general method of designing this kind of antenna was concluded.

Keywords: Multi-Bands; Surface Currents; Attenuation in Stopband

枝节状多频段微带天线的谐振机制与设计方法研究*

彭希亮, 魏兴昌

浙江大学信息与电子工程学系, 杭州

Email: weixc@zju.edu.cn

收稿日期: 2013 年 10 月 16 日; 修回日期: 2013 年 11 月 8 日; 录用日期: 2013 年 11 月 11 日

摘 要: 本文首先设计了一个三枝节微带天线, 并给出了该天线的 S11 参数的仿真结果与实测结果。而后, 采用了参数扫描的方法来分析天线相应结构的尺寸大小对谐振频率的影响, 然后通过分析各个谐振频率处的天线表面电流分布, 从理论上阐明参数扫描结果。为了获得更大的带外衰减, 本文在三枝节天线的基础上又设计了一个四枝节天线, 然后仿真并测试了其 S11 参数。接下来, 本文设计了一个尺寸减小的四枝节天线, 并分析了增强相应频段带宽的原理。最后, 本文总结了设计该类枝节状天线的一般方法。

关键词: 多频段; 表面电流; 带外衰减

1. 引言

随着移动通信技术的发展, 应用于手机上的通信

*资助信息: 本文受到国家自然科学基金(61274110, 61371031); 浙江省自然科学基金(LZ12F04001, Z1110330); 高等学校博士学科点专项科研基金(20120101110034)和中央高校基本科研业务费(2013xzzx008-2, 2012QNA5017)的支持。

频段早已不再局限于单频段。其中最常用的频段有 GSM900 (890 MHz - 960 MHz), DCS (1710 MHz - 1880 MHz), WLAN2.4 (2400 MHz - 2480 MHz)。实现多频段工作的方案主要分为两大类, 一类是用多个工作频段不同的单频段天线实现多频段工作, 简称多天

线方案,另一类是使用一个多频段天线实现多频段工作,简称多频段方案。多频段方案相比于多天线方案,天线总体尺寸较小,馈电网络简单,成本较低,因此多频段方案在实际应用中优势明显。

从 S_{11} 曲线的角度来看,目前实现多频段工作模式的方法大都如下^[1-5]:即设计一个天线,并使得它的 S_{11} 曲线上出现两个“阻带”(S_{11} 小于 -10 dB 或其它指定值的一个连续频段),同时要让这两个“阻带”覆盖至少三个频段。然而这种方法的劣势是明显的,仅以设计一个能同时覆盖 GSM900, DCS, WLAN2.4 等三个频段的印刷天线为例,传统方法要求天线 S_{11} 曲线的第一个“阻带”覆盖 GSM900 和 DCS,第二个“阻带”覆盖 WLAN2.4(或者天线 S_{11} 曲线的第一个“阻带”覆盖 GSM900,第二个“阻带”覆盖 DCS 和 WLAN2.4,这里仅以前述频段分配方式为例),这就会导致天线覆盖了 960 MHz~1710 MHz 之间的工作外频段。天线本应覆盖的频段只有 320 MHz,传统方法会额外覆盖 750 MHz,由于噪声与带宽成正比,从而导致噪声增加高达 234.4%。

为了克服传统多频段天线的缺陷,本文提出了一种枝节状多频段印刷天线,它的 S_{11} 曲线具有三个“阻带”,分别覆盖 GSM900, DCS, WLAN2.4,这样设计可以最大限度地减少噪声对天线性能的影响。与此同时,本文还通过分析天线表面电流分布阐述了该天线的谐振机制。最后,根据对该天线工作原理的讨论,本文归纳了设计这类天线的基本方法。

2. 天线基本结构与 S_{11} 参数

如图 1,是三枝节天线的尺寸结构示意图。该天线共有三层,其顶层是由铜构成天线贴片,中间一层是由 FR4($\epsilon_r = 4.4$)构成的介质层,底层是由铜构成的地。该天线由同轴线馈电。天线共有三个不同的枝节,可以在天线工作时形成三个不同的表面电流路径,进而产生三个不同谐振频率和工作频段。

我们采用电磁场全波仿真图 1 中提出的天线结构,并采用矢量网络分析仪进行测量。如图 2 所示,是三枝节天线的 S_{11} 参数仿真结果与实测结果。观察图 2 不难发现,实测结果相对于仿真结果略微向低频方向偏移,这是因为实际使用的 PCB 板介质的介电常数大于仿真时的预设值($\epsilon_r = 4.4$)造成的。若以 -10 dB 作为计量该天线的频段的标准,那么它的实际频段分

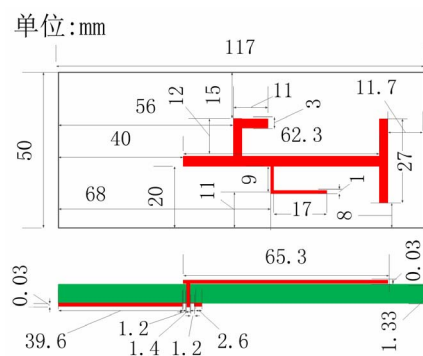


Figure 1. Structure of three-branch antenna
图 1. 三枝节天线结构图

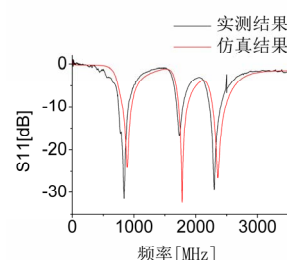


Figure 2. Simulation and measurement of three-branch antenna about S_{11}

图 2. 三枝节天线 S_{11} 仿真结果与实验结果

布情况如表 1 所示。

3. 天线表面电流分布与参数扫描

如图 3 所示,分别是天线在三个频段谐振频率处的表面电流分布。

由于低频段和中频段的表面电流在 P1 处有分布,而高频段的表面电流在 P1 处分布较少,因此 P1 的长度变化会对低频段以及中频段的谐振频率产生影响,但对高频段的谐振频率影响较小。如图 4 所示,三个频段的谐振频率均会随着 P1 的增长而降低,但高频段的谐振频率变化较小。发生上述现象的原因如下:研究表明,天线的谐振频率与天线谐振时的表面电流路径长度成负相关关系。因此当 P1 增长时,相当于增长了各频段的表面电流路径,于是谐振频率会下降。

类似的,由于天线在中频段以及高频段时均在 P2 上有较强电流分布,而低频段的表面电流在 P2 分布较少,因此如图 5 所示,当增长 P2 的长度时,天线在高频段和中频段的表面电流路径会增长,但低频段的表面电流路径长度基本不变,所以高频段和中频段的谐振频率均会下降而低频段的谐振频率

Table 1. Bands distribution of three-branch antenna
表 1. 三枝节天线的频段分布情况

频段	频段范围	目标频段
低频段	748.2 MHz - 910.9 MHz	GSM 900
中频段	1689.4 MHz - 1796.1 MHz	DCS
高频段	2219.5 MHz - 2409.3 MHz	WLAN 2.4

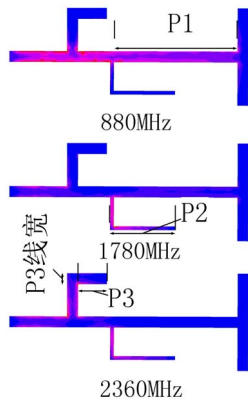


Figure 3. Surface currents distribution at the resonance frequency of three-branch antenna
图 3. 三枝节天线在谐振频率处的表面电流分布情况

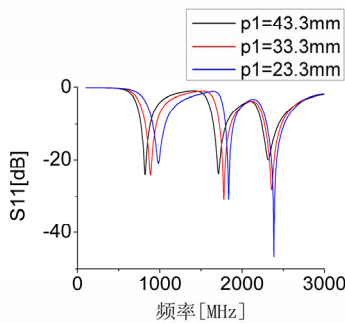


Figure 4. Relationship between the length of P1 and the S11 of three-branch antenna
图 4. P1 长度对三枝节天线 S11 参数的影响

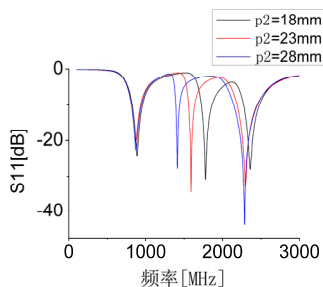


Figure 5. Relationship between the length of P2 and the S11 of three-branch antenna
图 5. P2 长度对三枝节天线 S11 参数的影响

基本不变。

由于在低频段以及中频段时，天线的表面电流在 P3 处分布较少，而当天线工作于高频段时，天线的表面电流在 P3 分布较多，因此可以考虑通过调节 P3 的相关参数从而单独调节高频段的谐振频率的位置，同时使低频段和中频段的谐振频率的位置不变。如图 6 所示，当 P3 的线宽增加时，天线在高频段的表面电流路径长度增长，而中频段以及低频段的表面电流路径长度基本不变，因此高频段的谐振频率会下降而另外两频段的谐振频率基本不变。

4. 带外衰减改进方案

进一步分析图 2 所示三枝节天线的 S11 曲线实测结果，可以看到其中频段与高频段之间的阻带最大 S11 值只有约-3.75 dB，为了获得更大的带外衰减，进而更好的抑制带外噪声，需要改进三枝节天线，从而提高中频段与高频段之间的阻带最大 S11 值。改进后的天线结构如图 7 所示，为了叙述方便，以下将改进后的天线称为四枝节天线。如图 8 是四枝节天线的 S11 参数仿真结果与实测结果。若以-10 dB 作为计量该天线频段的标准，那么它的实际频段分布情况如表 2 所示。

由图 9 可知，四枝节天线比三枝节天线多一个阻抗谐振点，该谐振点可以使得中频段和高频段之间的 Z11 实部最低点更低，从而使得中频段和高频段之间的频段阻抗失配更剧烈，从而获得更高的 S11。由图 8 可知，加入额外枝节后，天线的中频段和高频段之间的实测阻带最大 S11 约为-1.46 dB，该结果相比于三枝节天线有明显改善。

5. 尺寸减小方案

为了进一步减小天线的尺寸，可以考虑将四枝节天线的最长枝节作弯折处理，但是在仿真中发现，如果过度弯折，则会导致整个天线的 S11 曲线畸变。基于以上考虑，本文提出了如图 10 所示的改进天线，它的 S11 仿真结果如图 11 所示，若以-10 dB 作为计量该天线的频段的标准，那么它的频段分布情况如表 3 所示。

观察图 10，不难发现该天线的结构与四枝节天线基本相同，但是它的最长枝节的线宽明显比四枝节天线的最长枝节要宽，这是因为在实际设计中发现，当把天线作弯折处理后，天线在低频段的带宽发生衰

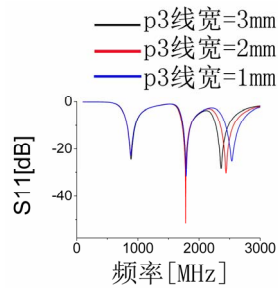


Figure 6. Relationship between the length of P3 and the S11 of three-branch antenna
图 6. P3 长度对三枝节天线 S11 参数的影响

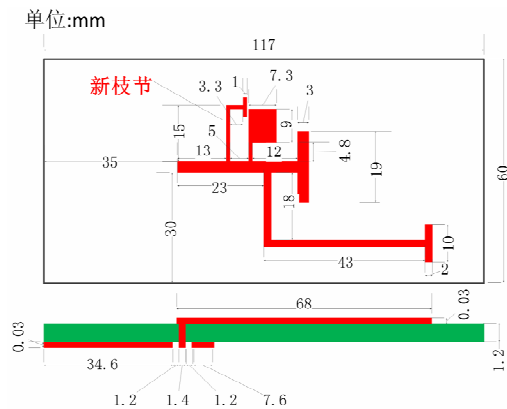


Figure 7. Structure of four-branch antenna
图 7. 四枝节天线结构图

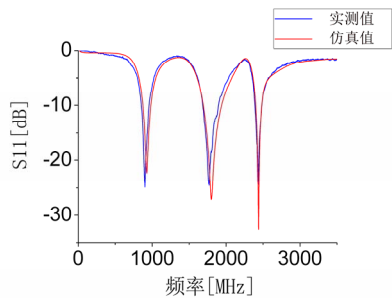


Figure 8. Simulation and measurement of four-branch antenna about S11
图 8. 四枝节天线 S11 仿真结果与实验结果

Table 2. Bands distribution of four-branch antenna
表 2. 四枝节天线的频段分布情况

频段	频段范围	覆盖频段
低频段	851.2 MHz - 960.5 MHz	GSM 900
中频段	1681.3 MHz - 1901.5 MHz	DCS
高频段	2387.9 MHz - 2487.7 MHz	WLAN 2.4

减, 不足以完全覆盖 GSM900 频段, 但当加宽该最长枝节的线宽后, 天线可在低频段处可获得足够带宽从而完全覆盖 GSM900 频段. 关于增加枝节线宽与增加

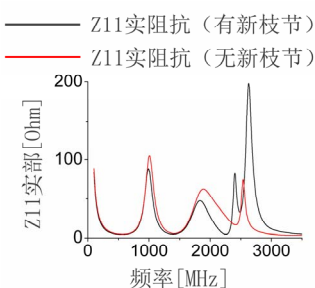


Figure 9. Relationship between the new branch and the Z11 real part of four-branch antenna
图 9. 新枝节对四枝节天线 Z11 实部的影响

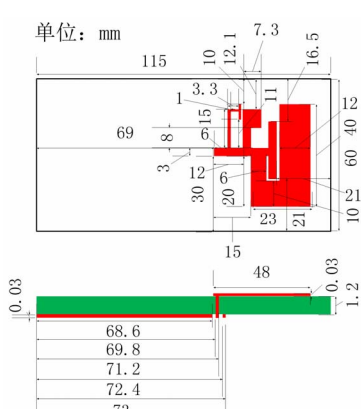


Figure 10. Structure of four-branch antenna which occupies smaller dimension
图 10. 尺寸减小的四枝节天线结构图

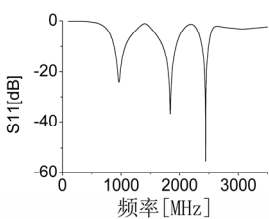


Figure 11. S11 simulation result of four-branch antenna which occupies smaller dimension
图 11. 尺寸减小的四枝节天线 S11 仿真结果

Table 3. Bands distribution of four-branch antenna which occupies smaller dimension
表 3. 尺寸减小的四枝节天线频段分布情况

频段	频段范围	目标频段
低频段	877 MHz - 1079 MHz	GSM 900
中频段	1705 MHz - 1942 MHz	DCS
高频段	2377 MHz - 2494 MHz	WLAN 2.4

天线相应频段带宽之间的关系如下文所述。

天线的损耗主要由辐射损耗, 导体损耗, 介质损耗, 表面波损耗造成, 相应的, 可得天线的品质因数

计算公式如下：

$$Q = \frac{1}{\frac{1}{Q_r} + \frac{1}{Q_c} + \frac{1}{Q_d} + \frac{1}{Q_{sw}}}$$

其中：

Q ——天线总的品质因数；
 Q_r ——天线辐射损耗的品质因数；
 Q_c ——天线导体损耗的品质因数；
 Q_d ——天线介质损耗的品质因数；
 Q_{sw} ——天线表面波损耗的品质因数。

当增加枝节的线宽时，枝节的宽长比会增大，此时天线的 Q_r 将可能在一定程度上减小^[6]，于是从上式可知，天线的 Q 值将减小，相应频段的带宽将增大。因此当天线的某频段的带宽不足时，可以通过增加相应枝节线宽从而在相应频段获得足够带宽。

6. 设计该类天线的通用方法

研究表明，设计该类枝节状多频段天线具有一般通用方法。仅以设计一个可以覆盖 GSM 900，DCS，WLAN 2.4 这三个频段的三频段天线为例。设计流程如图 12 所示，首先需要设计出类似于图 1 的三枝节天线，三个枝节分别用于产生三个不同的表面电流路径，将沿天线贴片从馈电点计量至相应枝节末端的长度作为各自的表面电流路径长度，各频段的谐振频率可用矩形微带天线的谐振频率计算公式先大致估算^[7]

$$f_{\text{谐振频率}} \approx \frac{300}{2l\sqrt{\epsilon_r}}$$

式中：

$f_{\text{谐振频率}}$ ——天线谐振频率，单位为 GHz；
 l ——天线表面电流路径长度，单位为 mm；
 ϵ_r ——介质层的相对介电常数。

由上式可粗略设计出天线各个枝节的长度。

然而，在实际设计中，天线的谐振频率会与上式存在偏差，因此需要细调各枝节长度，步骤如下，如图 3：1) 首先调节 P1 长度，虽然此时三个频段的谐振频率均会变化，但只需保证低频段的谐振频率到达指定区域；2) 调节 P2 的长度，此时高频段和中频段的谐振频率均会变化，但低频段不会变化，在这一步只需保证中频段被调节到指定位置；3) 调节 P3 的线宽，此时只有高频段会变化，于是可以在这一步中将

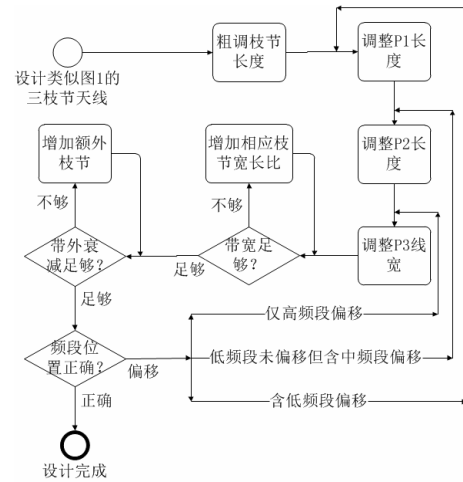


Figure 12. The design method of three-band antenna presented by flow diagram
 图 12. 三频段天线设计流程图

高频段调节到合适频段。经过以上三步，天线的三个谐振频段即可均处于指定频段。

如果天线在某频段的带宽不够，则可以通过增加相应枝节的宽长比从而达到增加带宽的目的。如果天线在某两个频段之间的带外衰减不足，那么可采用增加额外枝节的方法增强衰减。当天线结构发生变动后，其频段位置可能发生偏移，此时则需要按照图 12 所示方法进行调节。

7. 结语

本文设计了三个三频段枝节状天线，并从表面电流路径角度分析了其参数扫描结果。与此同时，本文还给出了设计该类天线的一般步骤，介绍了抑制带外衰减和增强目标频段的带宽的原理与具体方法，该设计方法简单明确，可操作性较强。

参考文献 (References)

- [1] Ban, Y.-L., Chen, J.-H., Yang, S., Li, J.L.W., et al. (2013) Low-profile printed octa-band LTE/WWAN mobile phone antenna using embedded parallel resonant structure. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, **61**, 3889-3894.
- [2] Le Bolter, F. and Louzir, A. (2001) Multi-band annular slot antenna for WLAN applications. *Eleventh International Conference on Antennas and Propagation*, **2**, 529-532.
- [3] Dai, C.D., Wu, D.L. and Wu, Y.J. (2013) Design of an internal multi-band loop antenna for multiple mobile handset operations. *IEEE International Wireless Symposium (IWS)*, 14-18 April 2013, 1-4.
- [4] Rowell, C. and Lam, E.Y. (2012) Mobile-phone antenna design. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, **54**, 14-34.
- [5] Razavizadeh, S.M. (2012) High gain dipole elliptic-shaped patch antenna for dual band WLAN2.4/5GHz applications. *IEEE Radio*

- [6] *and Wireless Symposium (RWS)*, 15-18 January 2012, 275-278.
- [7] 钟顺时 (1991) 微带天线理论与应用. 西安电子科技大学出版社, 西安, 13-15.
- [6] 钟顺时 (1991) 微带天线理论与应用. 西安电子科技大学出版社, 西安, 152-153.