

基于单负传输线的宽带偶极子天线设计

张小飞¹, 梁建刚¹, 王光明¹, 王利辉²

(1. 空军工程大学 防空反导学院, 陕西 西安 710051; 2. 93695 部队, 河北 廊坊 065400)

摘要:提出了一种基于单负传输线的宽带偶极子天线。通过在偶极子天线的两臂上加载单负传输线结构单元, 改变了传统偶极子天线上的电流分布, 通过选取合适的电容、电感值, 使天线的零阶、一阶谐振点相互靠近, 从而实现宽带特性。仿真结果表明, 天线的-10 dB带宽达到了1.7 GHz(2.3~4.0 GHz), 相对带宽达到了54%, 较传统偶极子天线带宽明显展宽, 实际测量结果与仿真结果吻合。天线在整个工作频带范围内, 方向图保持了良好的一致性, 天线的增益为2~3 dBic, 与传统偶极子天线相比有明显提高。

关键词:单负传输线; 宽带偶极子; 零阶、一阶谐振

中图分类号: TN81

文献标识码: A

Design of a Broadband Dipole Antenna Based on the Single Negative Transmission Line

ZHAGN Xiaofei¹, LIANG Jiangang¹, WANG Guangming¹, WANG Lihui²

(1. Air and Missile Defence College, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China; 2. Unit 93695, Langfang 065400, China)

Abstract: This paper describes a broadband dipole antenna based on the single negative (SNG) transmission line. By loading SNG transmission line structures on both arms of the dipole antenna, the current distribution on the surface of the antenna has changed. And the zeroth-order and first-order resonance was tuned close enough to make the "dual resonance" phenomenon by choosing appropriate capacitance and inductance, thus resulting in the bandwidth enhancement of the traditional dipole antenna. The HFSS simulation result shows that the -10 dB bandwidth of the antenna reaches 1.7 GHz(2.3~4.0 GHz) and the relative bandwidth is up to 54%, which is a magnificent progress of the bandwidth enhancement for the dipole antenna. The radiation patterns within the impedance bandwidth shows good consistence, and the gain reaches as high as 2~3 dBic.

Key words: single negative (SNG) transmission line; broadband dipole antenna; zeroth-order and first-order resonance

0 引言

1968年, 自 Veselago 提出了左手媒质以来, 电磁超材料引起了人们越来越多的关注。从2000年到至今, 有关电磁超材料的文献报道越来越多。将电磁超材料运用到天线的领域, 对于实现天线的小型化及双多频天线有着重要的意义。目前, 在实现天线小型化方面, 利用复合左右手(CRLH)传输线或单负(SNG)传输线结构来实现零阶谐振(ZOR)天线是研究的热点。然而, ZOR天线的带宽展宽问题一直是研究的瓶颈。文献[1]通过使用非对称共面波导结构使ZOR的相对带宽达到了10.3%, 是

已有文献中ZOR带宽较宽的一种。通过将零阶和一阶谐振点相结合^[2], 并采用共面波导结构馈电, 使单极子天线的相对带宽达到了70.5%。但对偶极子天线的带宽展宽工作鲜有报道, 这与偶极子天线固有的窄带特性及宽带时方向图发生畸变有关。本文通过将SNG传输线结构加载到偶极子天线的两臂上, 并使一、二阶谐振点相互靠近, 实现了偶极子天线带宽的展宽, 其相对带宽达到了54%。本文还利用SNG传输线的相位特性来改变天线上电流的相位分布, 使方向图保持良好的一致性。与传统偶极子天线相比, 本文提出的基于SNG传输线的偶极

收稿日期: 2014-09-28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61372034)

作者简介: 张小飞(1990-), 男, 山西大同人, 硕士生, 主要从事微带天线与电路研究。E-mail: zxf1990fei@163.com。

子天线形式克服了传统偶极子天线的固有窄带缺陷,为实现偶极子天线的宽频化作了一种有益的尝试。

1 SNG 传输线理论

对传输线的分析可从场和路两种不同的方面来进行。从路的观点来看,传统传输线是右手传输线,其等效电路结构如图 1(b)所示。近年来提出的一种利用开口谐振环(SRR)或蘑菇结构形成的CRLH传输线,由于在电路结构中加入了左手电容 C_L 和左手电感 L_L ,使传输线的色散关系曲线发生了明显的变化,其对应的电路图如图 1(a)所示。其中低频段对应左手区域,在此区域电磁波传输呈左手特性,对应的等效本构参数介电常数(ϵ_r)和磁导率(μ_r)也同时为负,其中 C_L 对应产生负的磁导率(MNG), L_L 对应产生负的介电常数(ENG)^[8]。SNG传输线分为MNG传输线和ENG传输线,其等效电路图分别如图 1(c),(d)所示。与CRLH传输线相比,其在电路结构上分别缺少了 C_L 和 L_L ,对应于实际的物理实践,SNG传输线实现起来更简单,同时也能展现区别于传统右手传输线的良好电磁特性,因此近年来不少文献利用SNG传输线进行天线设计。如文献[4]利用MNG传输线来实现宽频和多频天线设计。文献[5]利用ENG传输线来实现一种小型化的ZOR天线。与这些文献侧重点的区别是本文从宽频的角度利用MNG传输线进行偶极子天线设计。

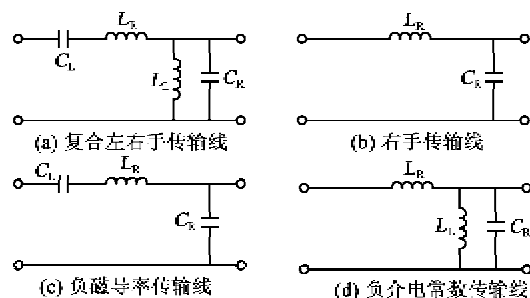


图1 不同类型传输线的等效电路结构图

2 基于MNG传输线宽带偶极子天线设计

2.1 天线结构

天线单元结构的形式采用分置于介质板两侧的平行微带线构成传输线^[8-11]。介质板采用 ϵ_r 为2.65,损耗角正切为0.002的FR4环氧树脂介质板,厚为1.5 mm。天线的每个臂上采用三单元结构。介质板正面的微带线间的缝隙提供 C_L ,每个微

带线单元提供右手电感 L_R 。上、下微带线单元间的缝隙提供右手电容 C_R 。天线采用微带线形式馈电,同时馈线也作为阻抗变换器来对输入阻抗进行匹配。天线的结构图如图2所示。天线的各个参数的具体值如表1所示。其中, l_g 和 w_g 分别为介质基板的长和宽; l_p 和 w_p 分别为馈线的长和宽; p 和 d 分别为上、下层金属的长度; g 为交指电容的宽度; h 为天线的厚度; t 为天线两臂缝隙的宽度; f 和 a 分别为交指枝节的宽度和间距; c 为交指枝节距边缘的距离。

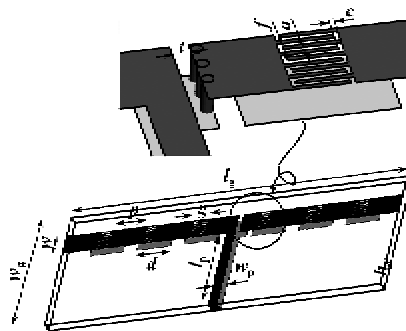


图2 天线结构图

表1 天线的具体参数值

l_g/mm	w_g/mm	l_p/mm	w_p/mm	p/mm	d/mm
90	12	8	1.8	9	9
g/mm	h/mm	t/mm	f/mm	a/mm	c/mm
1.4	1.5	0.6	0.15	0.15	0.15

2.2 理论分析

利用MNG传输线来实现天线的宽频设计,需将传输线的多个谐振频点相互靠近。为此选取合适的 C_L 、 L_R 及 C_R 值在实现宽频工作中很关键。本文通过添加交指电容进一步增大 C_L ,减小微带线单元长度减小 L_R 来使天线尺寸的进一步减小。图3为通过全波仿真软件HFSS对单元结构的色散关系曲线进行的仿真结果^[9-11]。

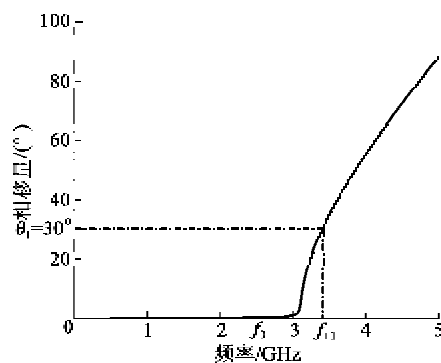


图3 单元色散关系曲线图

对偶极子天线来讲其谐振物理长度 L_m 或其谐振电长度 θ_m 须满足:

$$L_m = n \cdot \lambda / 2 \quad n = 0, 1, 3 \dots \quad (1)$$

或

$$\theta_m = n \cdot \pi \quad n = 0, 1, 3 \dots \quad (2)$$

当单元数量为 N 时, 条件变为

$$N \cdot L_m = n \cdot \lambda / 2 \quad n = 0, 1, 3 \dots \quad (3)$$

或

$$N \cdot \theta_m = n \cdot \pi \quad n = 0, 1, 3 \dots \quad (4)$$

对应于本天线的六单元结构, 显然天线的零阶和一阶谐振频率在图3上分别对应于 $\theta_1 = 0$ 和 $\theta_2 = \pi/6$ 。由图3可知, 零阶谐振频率 f_0 和正一阶谐振频率 f_1 分别为 2.5 GHz 和 3.5 GHz。这与天线的回波损耗图中的两个谐振频点相符合。

3 仿真与测试

图4为天线的仿真和测试的回波损耗图。由图可知, 天线的一10 dB带宽达到了 1.7 GHz (2.3 ~ 4.0 GHz), 相对带宽达到了 54%, 而传统偶极子天线的一10 dB带宽只有 0.2 GHz (1.4 ~ 1.6 GHz), 与传统偶极子天线相比, 天线的带宽有了明显的展宽。从图中可看到带宽展宽的原因是由于 ZOR 和一阶谐振两个频点很靠近, 产生了“双峰谐振”的效果, 从而展宽了天线带宽。仿真和测试结果符合很好。

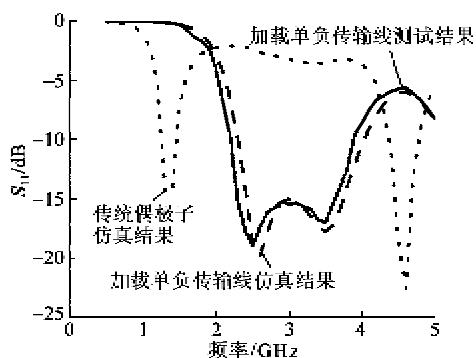


图4 天线的回波损耗对比图

图5为天线的实物加工图, 图6为天线在3个不同频率点上 ($f_1 = 2.5$ GHz, $f_2 = 3.0$ GHz, $f_3 = 3.5$ GHz) 方向图的仿真和测试图。由图可知, 在天线的阻抗带宽范围内, 天线方向图保持了良好的一致性。对于传统偶极子天线来说, 受制于偶极子两臂上电流相位影响, 要实现在宽带范围内方向图保持一致性很难。本文设计的天线由于采用了多个单

负传输线单元结构, 使天线两臂上的电流相位在工作频带保持了一致, 从而克服了电流相位对方向图的影响, 因而方向图性能也有所提高。

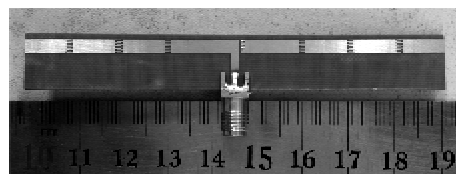


图5 天线实物图

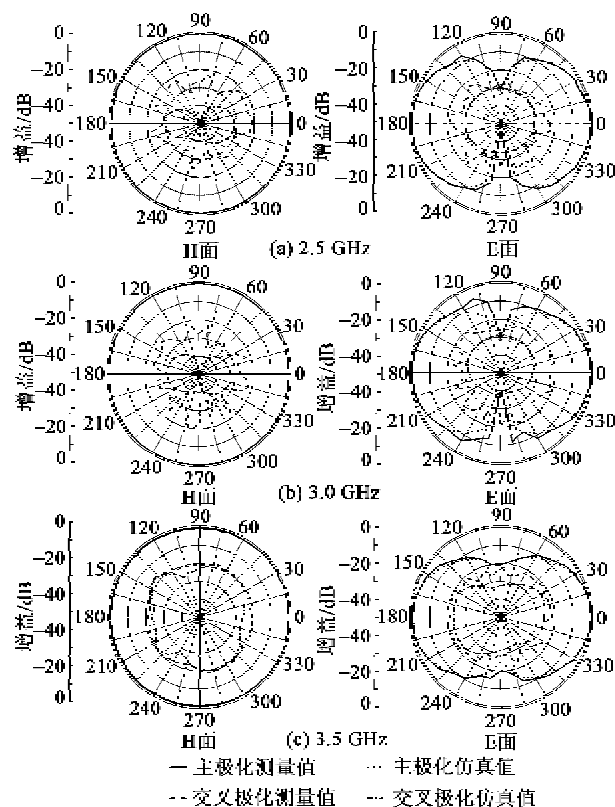


图6 天线的 H、E 面方向图

图7为天线在阻抗带宽范围内的增益图。在天线的工作频带范围内, 天线的增益保持在 2 ~ 3 dBic 范围内。

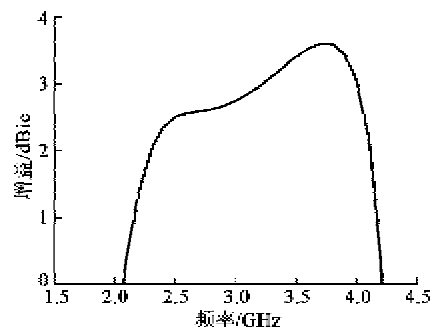


图7 天线增益仿真曲线

(下转第917页)