

文章编号:1009-3486(2007)04-0085-05

## 电阻加载偶极天线阻抗带宽及脉冲辐射特性研究

张行军<sup>1,2</sup>, 卢万铮<sup>1</sup>, 曾越胜<sup>1</sup>

(1. 空军工程大学 电讯工程学院, 西安 710077; 2. 空军第二飞行学院, 西安 710306)

**摘要:** 分析了偶极天线电阻加载方面的若干问题, 包括不同电阻加载方式阻抗频率特性比较, 连续与离散串联集中电阻加载脉冲辐射特性比较, 证明其它加载方式具有与 Wu-King 电阻加载相似的特性, 与未加载偶极天线相比, 阻抗带宽较宽, 辐射脉冲失真较小。

**关键词:** 电阻加载; 输入阻抗; 阻抗带宽

**中图分类号:** TN823

**文献标志码:** A

### Characteristic investigation impedance bandwidth and impulse radiation of dipole antenna with resistance loading

ZHANG Xing-jun<sup>1, 2</sup>, LU Wan-zheng<sup>1</sup>, ZENG Yue-sheng<sup>1</sup>

(1. The Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering Univ., Xi'an 710077, China; 2. Air Force Second Flight College, Xi'an 710306, China)

**Abstract:** The characteristics of dipole antenna with resistance loading are analyzed; including the comparison of input impedance and frequency in different resistance loading and impulse radiation in continuous and discrete resistance loading. The result shows that these different style resistance loadings have the similar characteristics of Wu-King resistance loading. As compared with no loading dipole antenna, these antenna have wide impedance bandwidth and less impulse radiation distortion.

**Key words:** resistance loading; input impedance; impedance bandwidth

超宽带通信系统要求天线能够无失真辐射超宽带窄脉冲信号, 天线输入端的反射信号应该足够小, 在规定方向的辐射信号应该足够大。无限长的偶极天线可以满足上述要求, 而实际的有限长天线并不能满足上述要求, 在天线的激励点和端点都存在反射, 从而引起辐射脉冲波形的失真。电阻加载可以用来改善天线的脉冲辐射特性。偶极子电阻加载并不是一个新概念, 1961 年 Altshuler 就提出在距离偶极天线终端四分之一波长处实施电阻加载, 使天线上的电流呈行波分布, 但这种行波天线的频带很窄; Wu 和 King 提出用连续分布电阻加载来消除天线端点的反射, 实现了宽带行波天线<sup>[1]</sup>; Garcia 等讨论了具有 Wu-King 电阻加载的 V 形偶极天线的脉冲接收特性<sup>[2]</sup>; Kim 和 Scott 讨论了 Wu-King 电阻加载 V 形偶极天线在探地雷达中的应用<sup>[3]</sup>; Mosquera 等又讨论了 Wu-King 电阻加载 UWB 偶极天线<sup>[4]</sup>; Pantoja 等又用 GA 算法对加载电阻进行优化<sup>[5]</sup>。

从上看到, 电阻加载大都采用 Wu-King 连续分布加载。这种加载方式需要天线电阻沿长度按一定规律分布, 工程实现难度较大。用离散串联集中电阻加载来代替连续分布加载<sup>[6]</sup>, 具有工程实现比较容易的优点。按时域天线理论, 脉冲辐射只发生在天线表面电流和电压的不连续点, 即天线结构的不连续点。不连续点的空间分离导致在不同的时间间隔上产生多重辐射, 辐射场是这些多重辐射的叠加, 从而

收稿日期: 2007-02-14; 修回日期: 2007-03-31。

作者简介: 张行军(1970-), 男, 博士生。

引起辐射脉冲变形。本文分析了离散串联集中电阻加载偶极天线的脉冲辐射特性,证明离散加载具有与连续加载相似的特性,与未加载的偶极天线相比较,辐射脉冲失真较小。

## 1 不同加载方式对天线阻抗带宽的影响

沿坐标  $z$  放置圆柱偶极天线,其内阻抗是坐标的函数  $Z'(z)$ ,在  $z=0$  处用有效值为  $V_0$  的  $\delta$  源激励,天线表面的轴向电流  $I_z(z)$  所产生的矢量位的轴向分量  $A_z(z)$  满足如下波动方程:

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial z^2} + k^2\right)A_z(z) = \frac{jk^2}{\omega}[Z'(z)I_z(z) - V_0\delta(z)] \quad (1)$$

Wu 和 King 证明如果天线的阻抗随  $z$  的变化为:

$$Z'(z) = \frac{60\psi}{h - |z|} \quad (2)$$

则天线电流沿  $z$  呈行波分布:

$$I_z(z) = \frac{V_0}{60\psi(1 - j/kh)} \left[1 - \frac{|z|}{h}\right] \exp(-jk|z|) \quad (3)$$

式中:  $2h$  为偶极天线的物理长度;  $k$  为波数;  $V_0$  为激励电压;  $\psi$  为

$$\psi \cong 2\left[\sinh^{-1} \frac{h}{a} - C(2ka, 2kh) - jS(2ka, 2kh)\right] + \frac{j}{kh}(1 - \exp(-j2kh)) \quad (4)$$

式中:  $a$  为偶极天线半径;  $C(x, y)$  和  $S(x, y)$  为正弦和余弦积分。

Wu-King 加载虽然在理论上能得到天线上的行波电流分布,但其工程实现比较困难,有人在介质圆柱上涂敷高电阻率的导体材料,使导体层厚度沿  $z$  坐标而改变,从而改变其加载电阻;也有人用改变具有不变电阻率的导体的几何形状(截面)的方法来改变其加载电阻。前者工艺复杂,后者在许多实际场合并不适用,特别是对于常用的导体圆柱偶极天线。因此,讨论更简单的电阻加载方式在工程上非常具有实际意义。

在偶极天线的工程应用上,最感兴趣的参数是其天线的输入阻抗和方向性,对于长度短于一个波长的偶极天线,天线的方向性基本上是 8 字形,不同的电阻加载方式对其影响不大,而阻抗特性随电阻加载方式的不同会有很大变化。下面分析不同的加载方式对偶极天线阻抗特性的影响。

以沿  $z$  轴放置的细偶极天线为例,矩量法求解。天线上电流满足的矢量-标量位方程为:

$$E_z = j\omega A_z + \frac{\partial \varphi}{\partial z} \quad (5)$$

$$A_z = \frac{\mu_0}{4\pi} \int I_z(z') \frac{\exp(-jkR)}{R} dz' \quad (6)$$

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \sigma(z') \frac{\exp(-jkR)}{R} dz' \quad (7)$$

$$\sigma(z) = -\frac{1}{j\omega} \frac{\partial I(z)}{\partial z} \quad (8)$$

式中:  $E_z$  为导体上电场的切向分量;  $\varphi$  为标位;  $\sigma(z)$  为电荷分布;  $R$  为场点到源点( $z'$ 处)的距离。

天线采用如下不同的加载方式: ①均匀加载  $Z'(z) = Z_L$ ; ②线性加载  $Z'(z) = Z_L z$ ; ③ Wu-King 加载  $Z'(z) = \frac{60\psi}{h - |z|}$ ; ④正切加载  $Z'(z) = Z_L \tan\left(\frac{\pi z}{2h}\right)$ 。式中:  $h$  为天线臂长,  $Z_L$  对于线性加载为  $1 \Omega$ , 对于均匀加载和正切加载为  $10 \Omega$ 。对于工作于短波频段臂长为  $10 \text{ m}$  的偶极天线计算结果如图 1 所示。

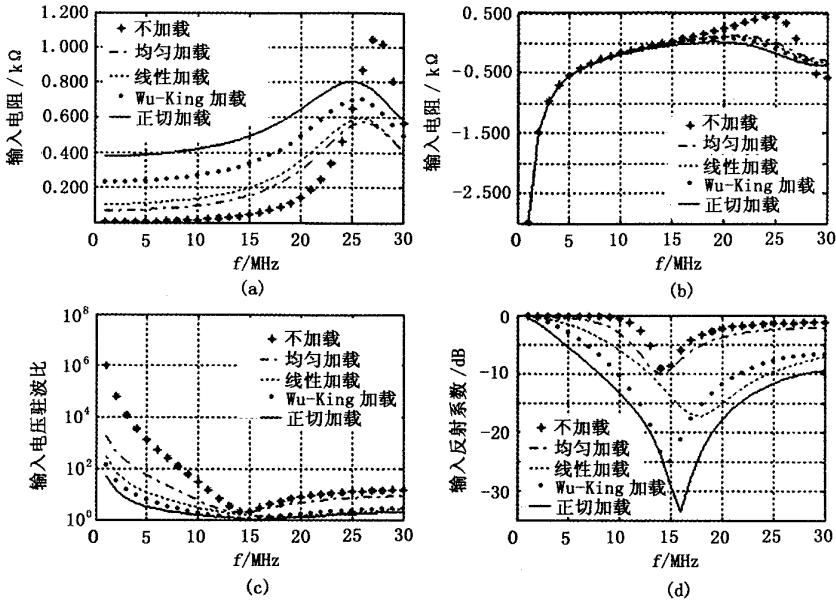


图 1 不同加载方式的阻抗频率特性

由上面的结果可见,除 Wu-King 加载方式外,其它加载方式也可以改善偶极天线的阻抗带宽,并且从改善阻抗带宽的角度看,Wu-King 加载并非最佳的选择。如果用若干集中参数电阻在适当位置串联在偶极天线的臂中代替连续电阻加载,从工艺上来说显然比连续电阻加载更简单。图 2 是 Wu-King 连续加载与离散加载偶极天线输入阻抗频率特性的比较,离散加载是用 10 个符合 Wu-King 分布的集中参数电阻串联在天线臂中形成的。显然离散加载的效果不如连续加载,但相比未加载要好些,仍然可以起到改善阻抗频率特性的目的。

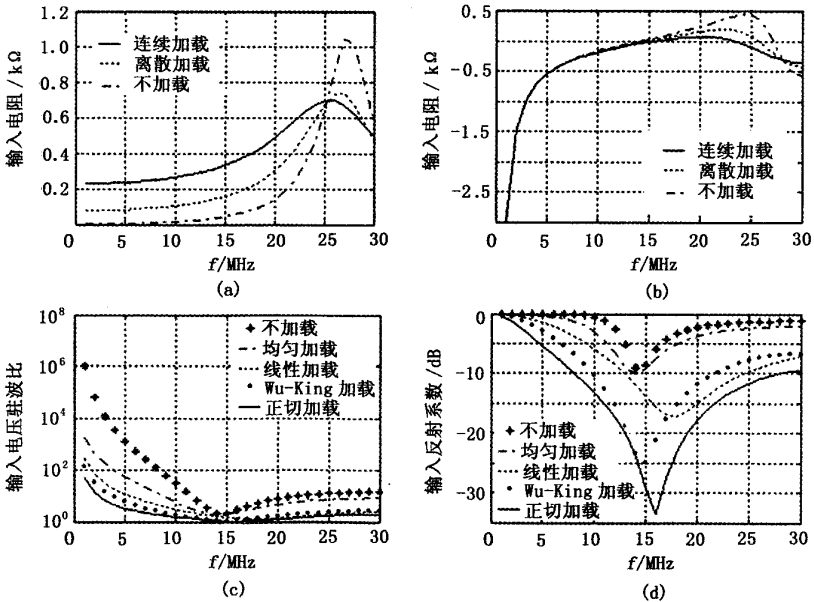


图 2 Wu-King 连续加载与离散加载阻抗频率特性的比较

## 2 不同加载方式对辐射波形的影响

如前所述,连续电阻加载因其改善偶极天线的脉冲辐射特性已经见于不少文献,由前节可见离散电阻加载可在一定程度上改善偶极天线的阻抗频率特性,但关于离散电阻加载是否能用于脉冲工作的研究尚未见报导,下面利用时域矩量法分别计算了上述偶极天线在未加载、Wu-King 连续加载、Wu-King 离散加载三种情况下的远场辐射波形。天线的激励信号为微分高斯脉冲,计算结果如图 3 所示,图中  $xy$  平面为垂直于天线轴过天线中心的平面即  $H$  面,  $xz$  平面为包含天线平面的平面即  $E$  面,计算中取  $\theta=45^\circ$ ,  $\theta$  是场点与  $z$  轴夹角。从图中可见,简单的偶极天线无法辐射脉冲信号,电阻加载可以有效地改善辐射脉冲波形。令人感兴趣的是离散电阻加载在改善辐射脉冲波形方面也十分有效。按照时域天线理论,脉冲辐射只发生在天线表面电流和电压的不连续点,即天线结构的不连续点。不连续点的空间分离导致在不同的时间间隔上产生多重辐射,辐射场为这些多重辐射的叠加,从而引起辐射脉冲变形。离散电阻加载增加了天线上的不连续点,似乎波形应比未加载更差,但实际情况并非如此,由加载电阻引入的不连续性对脉冲辐射性能影响不大,这个结果在工程上是有意义的,因为离散加载的成本比连续加载要低得多。

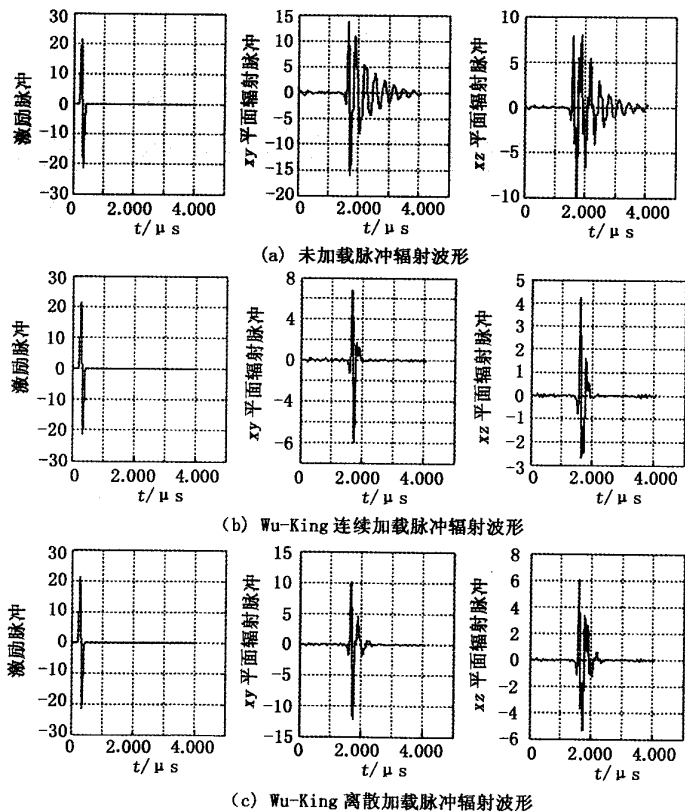


图 3 未加载、Wu-King 连续加载、Wu-King 离散加载脉冲辐射波形的比较

## 3 结 论

根据经典天线理论,对偶极天线进行 Wu-King 连续电阻加载,可以在偶极天线上得到行波电流分布。然而从工程应用出发,若仅对阻抗带宽感兴趣,则其它电阻加载方式可能会得到更宽的阻抗带宽,如正切电阻加载,甚至离散集中电阻加载;根据时域天线理论,离散加载将增加天线上的不连续点,会增

加辐射脉冲波形的失真,但数值分析的结果说明,离散电阻加载也能改善辐射脉冲波形的畸变。这些不同的加载方式特别是离散集中参数电阻加载方法比起 Wu-King 连续分布电阻加载,在工程上更容易实现。本文结果为分析和设计小型超宽带天线提供了一种有效方法与思路。

#### 参考文献:

- [1] WU T T, KING P W P. The cylindrical antenna with nonreflecting resistive loading [J]. IEEE Trans. AP., 1965, 13(3):369—373.
- [2] GARCIA I S, BRETONS A R, MARTIN R G. Pulse-receiving characteristics of V-dipole antennas with resistive loading [J]. IEEE. Trans. EMC., 1998, 40(2):174—176.
- [3] KIM K, SCOTT W R. Design of a resistively loaded vee dipole for ultrawide-band ground-penetrating radar applications [J]. IEEE. Trans. AP., 2005, 53(8):2525—2532.
- [4] MOSQUERA J M P, ISASA M V. Planar resistively loaded UWB dipoles analysis and comparison [C]// IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium. Ohio: IEEE, 2003.
- [5] PANTOJA M F, MONORCHIO A, Bretones A R. Direct GA-based optimization of resistively loaded wire antennas in the time domain [J]. Electronics Letters, 2000, 36(24):1988—1990.
- [6] 张行军,卢万铮,曾越胜.基于矩量法对分段指数电阻加载 Koch 分形天线阻抗特性研究 [J]. 海军工程大学学报, 2006, 18(4):95—98.

(上接第 76 页)

## 4 结 论

针对永磁直线同步电机的特性,建立了 PMLSM 在  $dq$  两相坐标系下的数学模型,根据系统框图建立了实验系统,实验验证了所研究的基于矢量控制的永磁直线同步电机矢量控制方法的有效性。该控制系统具有位置跟踪良好,响应速度快,定位精度高的优点。

#### 参考文献:

- [1] BOLDEA I, NASAR S A. Linear Electric Actuators and Generators [M]. London, UK: Cambridge Univ. Press, 1997.
- [2] LIN F J, LIN C H, HONG C M. Robust control of linear synchronous motor servo drive using disturbance observer and recurrent neural network compensator [J]. IEE Proc. Electr. Power, 2000, 147(4):263—272.
- [3] LEONHARD W. Control of Electrical Drive [M]. Berlin: Springer-Verlag, 1996.
- [4] 张志强,夏立,马丰民.基于随机脉宽调制技术的感应电机矢量控制系统研究 [J]. 海军工程大学学报, 2005, 17(3):90—94.
- [5] 朱晓东,曾庆山,王茜,等.永磁直线同步电机矢量控制模型及仿真的研究 [J]. 煤矿机械, 2006, 27(3):417—419.

## 如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深, 让许多工程师望而却步, 然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上, 我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识, 借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))专注于微波射频和天线设计人才的培养, 推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程, 化繁为简, 直观易学, 可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛, 让天线设计不再难...



### HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书, 课程从基础讲起, 内容由浅入深, 理论介绍和实际操作讲解相结合, 全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程, 可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计, 让天线设计不再难...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

### CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程, 由经验丰富的专家授课, 旨在帮助您从零开始, 全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程, 边操作边讲解, 直观易学; 购买套装同时赠送 3 个月在线答疑, 帮您解答学习中遇到的问题, 让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



### 13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程, 培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合, 全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作, 同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习, 可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试...

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



## 关于易迪拓培训:

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力和专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com)),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、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。

## 我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养,更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果,又能免除您舟车劳顿的辛苦,学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲,结合实际工程案例,直观、实用、易学

## 联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>