

缝隙单元的环型阵列天线研究*

董全林 杨海马 刘彬

(燕山大学电气工程学院 秦皇岛 066004)

摘要 利用电磁场理论,对缝隙单元的环型阵列天线进行了研究,推导出此新型缝隙单元环型阵列天线的辐射方程、等效导纳方程、辐射倾角方程和反向激励分布方程。通过将这种新型环型缝隙天线应用在旋转信号测量领域,解决了旋转体信号测量产生的信号盲区和测量信号难以传输的难题,为实际设计、生产缝隙单元环型阵列天线提供了理论依据。

关键词 缝隙天线 旋转信号 电磁场 等效导纳 非接触测量

1 概述

测量旋转体物理量信号通常要求采用非接触方法才能够实现。这样,安置在旋转体上的传感器与外界接收/处理电路便存在一个耦合联系问题,解决好它就能明显地解决旋转信号测量难题。以往,工程实践采用最多的方法是外置单向固定天线与传感器天线耦合。但这种一动一静的耦合效果并不理想。例如,处于旋转状态的传感器天线与外置固定天线间存在一个周期性远离——靠近、遮蔽——暴露的过程,耦合状态会因天线辐射方向的不断改变而改变,耦合程度只在某个特定时间段最大,造成整个测量过程不连续,影响实时测量。过去研究者解决此类问题时,往往希望找到一种全向天线,将其安置在旋转的传感器上,完成测量信号全方向传输^[2]。由于真正的全向天线很难获得,解决的效果也就并不理想。

考虑到这是一类典型问题,本文通过研究一种新的环型缝隙天线^[1],把它环绕旋转体布置,使传感器天线与外置环型天线的耦合效果始终处于最佳状态,从而克服了旋转信号测量、传输所遇到的问题。

2 缝隙单元环型阵列天线研究

2.1 单元缝隙天线

由电磁场巴卑涅原理知,缝隙天线的空间总场(\vec{E}_s, \vec{H}_s)可以从互补带状振子天线的散射场(\vec{E}_e, \vec{H}_e)求出,

* 河北省科技攻关资助项目,2002年度(02212106D)

河北省自然科学基金资助项目,2002年度(603334)

$$\vec{E}_s = \vec{H}_e^S, \quad \vec{H}_s = -\frac{\vec{E}_e}{W^2} \quad (1)$$

式中 $W = \sqrt{\mu/\epsilon}$, μ 是空间介磁常数, ϵ 是空间介电常数。

设在金属铝板上开出长 $2l$ (与波长 λ 可比拟)、宽 ω ($\ll \lambda$) 的直线窄缝,在窄缝上施加正弦激励,则可得到单元缝隙天线的空间辐射场为:

$$E_\varphi = \pm j \frac{V_m}{\pi r} e^{-jkr} \left[\frac{\cos(kl \cos\theta) - \cos kl}{\sin\theta} \right] \quad (2)$$

$$H_\theta = -\frac{E_\varphi}{W_0}$$

式中 V_m 是正弦激励幅值, r 是场点与缝隙中心距, θ 是场点与缝隙纵轴夹角, φ 是场点与缝隙横轴夹角, k 是常数, y 是场点沿缝隙法线方向与缝隙中心距。

对于此单元纵缝隙,其输入导纳满足布克关系(此时假设金属平面为无限大):

$$Z_d \cdot Z_s = \frac{W_0^2}{4} = (60\pi)^2 \quad (3)$$

式中 Z_d 是互补板状振子的输入阻抗, Z_s 是缝隙的输入阻抗。又由于单元纵缝的等效电路图^[2],如图1所示。

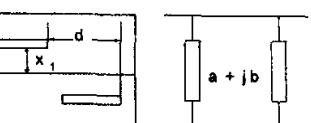


图1 单元纵缝等效电路图

由式(3)可推得:

$$Z_s \approx \frac{(60\pi)^2}{R_d - jZ'_{co} \cot kl} \quad (4)$$

式中 $Z'_{co} = 120(\ln 8l/\omega - 1)$, 是宽度为 ω , 长度为 $2l$ 的板状振子的平均特性阻抗, R_d 是缝隙的辐射电阻。

如果是 n 个缝隙组正的阵列天线,其输入阻抗

Z_s' 可看作 n 个相同负载的并联

$$Z_s' = \frac{1}{n} Z_s \quad (5)$$

2.2 环型缝隙天线阵

旋转信号测量中,用固定单向天线测量旋转体信号会产生传输信号盲区、多普勒频移振荡等问题。这里采用一种新型环型泄露缝隙天线阵电缆作为无盲区旋转信号测量的载体,构建起一种最佳旋转信号传输途径,解决了旋转信号测量的瓶颈问题。此环型缝隙天线阵结构,如图 2 所示。

将与传感器天线有较好耦合的两个工作缝隙区 1、2 合并考虑,如图 2 中右边小图所示。

可将对单元

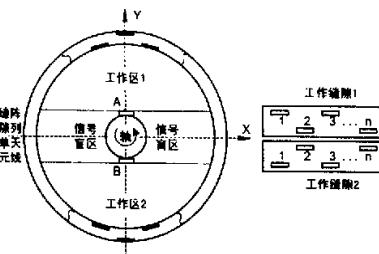


图 2 环型缝隙天线阵

缝隙的分析划为对缝隙阵的分析。由于实际的波导缝隙金属面面积有限,并且波导面由宽为 L_1 、窄为 L_2 的两组金属面组成,则有限缝隙阵的等效阻抗可修正为:

$$Z_s' = \frac{1}{n} (a + jb) \quad (6)$$

其中 $b = ac$, $\frac{1}{a} = \frac{1}{2} \left| \frac{V_m}{A} \right| \cdot \frac{k}{\gamma} \cdot \frac{R_i}{60\pi} \cdot \frac{1}{L_1 \cdot L_2} (1 + c^2)$,

$$A = JV_m \frac{4}{\lambda Y L_2} [\cos(\gamma l) - \cos(kl)] \sin\left(\frac{\pi x_1}{L_1}\right),$$

$$c = (2X_{11} + \sum_{i=1}^n X_{1i}) / R_r, \quad \gamma = k \sqrt{1 - (\frac{\lambda}{2L_1})^2}.$$

X_{1i} 指的是第 i 个缝隙振子对第 1 个缝隙振子的互阻抗。 R_r 为互补振子在全空间的辐射电阻。

由于各缝的激励相位不同,缝间相差 φ_0 ,则最大辐射方向与阵的法线间的角度 θ_0 为:

$$\theta_0 = \arcsin \frac{\varphi_0 \lambda}{2 \pi d} \quad (7)$$

由此亦可得到图 2 右边小图中的辐射倾角图(俯视图),如图 3 所示。

2.3 辐射方向确定反推缝隙激励分布

由式(7)可得此环型缝隙天线的辐射方向,同时由给定的辐射方向亦可得各缝隙上的阵源的激励强

度分布 $[I_p]^{[3]}$ 。这里,考虑空间的电磁干扰对缝隙的影响 $[I_{inf}]$,则有:

$$[I_p] = [I_{p1}, I_{p2}, \dots, I_{pn}]^T + [I_{inf1}, I_{inf2}, \dots, I_{infn}]^T \quad (8)$$

式中 I_{pn} 是第 n 个

阵源的强度, I_{infn} 是空间电磁干扰对第 n 个振源产生的影响。环型缝隙天线的辐射

方向图^[4],如图 4

所示。对辐射方向图,其激励场与振源上电流积分成正比:

$$\left| \frac{Z^0 + i}{Z^0 - i} i_n(Z_n) dz_n \right| \propto I_{pn} \quad (9)$$

又由于一般天线阵中相邻单元间电流分布差别不大,只有振幅和相位的变化,一个天线对另一个天线的影响主要由此天线上电流积分值决定,当积分值不变时,天线上电流分布的微小变化不会影响其它天线。因此,对角频率 ω 的激励源,其波克灵顿方程为:

$$-jk\mu \sum_{m=1}^n \int_{z^0-1}^{z^0+1} i_n(z_m) \left[1 + \frac{1}{k^2} \cdot \frac{d^2}{dz_m^2} \right] \cdot g_{nm}(R_{nm}) dz_n \\ = E_m^i(z_m), m = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

式中, $E_m^i(z_m)$ 是第 m 单元的激励源在 z_m 点产生的场; $g_{nm}(R_{nm})$ 是 n 和 m 单元上相距为 R_{nm} 的两点间的格林函数, $g_{nm} = \exp(-jkR_{nm}) / 4\pi R_{nm}$; R_{nm} 是 n 单元上的 z_n 点到 m 单元上的 z_m 点之间的距离。对此方程进行求解,即可得出第 m 单元的场解。从而可求出满足式(9)的所有单元的激励电压、输入阻抗、电流分布。

3 结束语

通过对环型泄露缝隙天线的研究,实现了一种解决旋转体上无线传输天线的设计,在工程应用中,可以避免测量信号绕射、遮挡、多普勒频移震荡等问题,为广泛的转动体信号测量提供了一种可供参考的途径。

参 考 文 献

- 1 刘克成,宋学诚编著.天线原理.长沙:国防科技大学出版社,1989.5.
- 2 刘克成.矩形波导缝隙的等效导纳.长沙:国防科技大学学报,1984,(3).
- 3 高式昌,钟顺时.具有任意斜缝的微带缝隙天线研究.北京:通信学报,1999,(1).
- 4 陈伟,张善谋.一种新的天线阵方向图综合方法.西安:电子科技大学学报,1989.2,18(1).

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)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)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、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)，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>