

关于长细天线辐射的研究

朱孟正, 赵春然, 苏晓飞, 张 峰, 袁广宇

(淮北煤炭师范学院物理系, 安徽 淮北 235000)

摘要:通过理论计算给出了长细天线电磁辐射场的解析表达式和长细天线辐射场的辐射平均角分布的解析表达式, 对这个表达式进行数值计算发现部分电动力学教材中所给的辐射平均角分布示意图有误。

关键词:天线; 电磁辐射; 角分布

[中图分类法]TN821

[文献标识码]A

[文章编号]1003-6180 (2007) 03-0018-02

1 细直天线上的电流分布

如图1所示^[1]的细直天线电流沿z轴, 矢势的方向与电流密度的方向同向, 考虑输入到天线中的讯号是时谐的, 故矢势仅有z分量:

$$A_z(x, t) = \frac{\mu_0}{4\pi} \int_v \frac{[I(z') e^{i\omega t}] e^{ikr}}{r} dz', \quad (1)$$

在细直天线上的各点 A_z 仅是坐标 z 的函数。细直天线上每一点矢势都是由天线上各个电流元激发的, 对天线表面各点 z , (1)式中的 $r = |z - z'|$, 故对 z 点场的主要贡献来自 $z' = z$ 处的电流元。

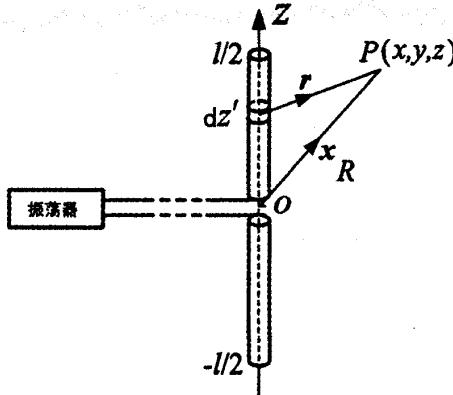


图1 中心馈送的细直天线

由(1)式, z 点的矢势可近似表示为

$$A_z(z, t) \approx K I(z, t), \quad (2)$$

K 为一个常数。

若将细直天线看成是理想导体, 则天线表面上各点电场的 z 分量为零。所以由

$$E = ic^2 [\nabla (\nabla \cdot A) + k^2 A] / \omega$$

式得

$$[\frac{\partial^2}{\partial z^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2}] I(z, t) = 0, \quad (3)$$

细直天线上的电流以波动方式运动^[2]。若讯号是沿天线的中点(坐标原点)输入, 电流对坐标原点有对称分布, 在天线的两端点电流应为零, 所以细直天线上的电流分布:

$$I(z', t') = I_0 e^{-i\omega t'} \sin(\frac{kl}{2} - k|z'|), (|z'| \leq \frac{1}{2}) \quad (5)$$

2 长细天线辐射

当天线长度 l 大到与辐射波长同数量级时, 矢势展开迅速收敛, 条件式不成立, 这时必须从推迟势公式出发计算矢势。

$$A(x, t) = [\frac{\mu_0}{4\pi} \int_v \frac{J(x') e^{ikr}}{r} dV'] e^{-i\omega t} \quad (6)$$

对于远区辐射场来说, 只保留 l/R 的一次幂项, l/R 的高次幂项不属于辐射场; 但对于远区场来说, 推迟作用因子

$$\begin{aligned} e^{ikr} &\approx e^{ik(R-z')} = e^{ikR} \cdot e^{-ikz' \cos \theta}, \\ A(x, t) &= \frac{\mu_0 e^{ik(R-z')}}{4\pi R} \int_{-l/2}^{l/2} I_0 \sin(\frac{kl}{2} - k|z'|) e^{-ikz' \cos \theta} dze_z = \frac{\mu_0 I_0 e^{ik(R-z')}}{2\pi kR} \frac{f(\theta)}{\sin \theta} e_z, \end{aligned} \quad (7)$$

$$\text{其中 } f(\theta) = [\cos(\frac{kl}{2} \cos \theta) - \cos \frac{kl}{2}] / \sin \theta. \quad (8)$$

只讨论辐射区的电磁场分布, 由于只保留 l/R 的一次幂项, 因此, 算符 ∇ 对矢势 A 作用时, 相当于不需要对分母中的 R 作用, 仅需对相因子 e^{ikR} 作用, 故作用结果相当于将算符 ∇ 代换成 ikn , 所以 $B = \nabla \times A(x, t) = ikn \times A(x, t)$

$$= -\frac{i\mu_0 I_0 e^{ik(R-z')}}{2\pi R} f(\theta) e_\phi, \quad (9)$$

$$E = \frac{ic}{k} \nabla \times B = cB \times n = \frac{i\mu_0 c I_0 e^{i(kR - \omega t)}}{2\pi R} f(\theta) e_\theta, \quad (10)$$

平均辐射能流密度

$$\bar{S} = \frac{1}{2} \operatorname{Re}(E^* \times H) \frac{\mu_0 c I_0^2}{8\pi^2 R^2} f^2(\theta) n, \quad (11)$$

平均角分布:

$$\frac{d\bar{P}}{d\Omega} = |\bar{S}| R^2 = \frac{\mu_0 c I_0^2}{8\pi^2} f^2(\theta), \quad (12)$$

$$P = \int_S \bar{S} \cdot d\sigma = \int_S |\bar{S}| R^2 d\Omega \\ = \frac{\mu_0 c I_0^2}{8\pi^2} \int_0^{2\pi} d\phi \int_0^\pi f^2(\theta) \sin\theta d\theta. \quad (13)$$

由于电磁能量不断向外辐射,电源需要供给一定的功率来维持辐射,天线的平均辐射功率相当于一个等效电阻 R_e 上的损耗功率

$$\bar{P} = I_0^2 R_e / 2, \quad (14)$$

在输入电流一定的情况下,天线的辐射电阻越大,表示其辐射功率越大.因此,辐射电阻通常是用来表征天线辐射能力的物理量.

对于半波型天线:

$$l = m\lambda/2 (m=1, 2, 3, \dots). \quad (15)$$

3 数值计算结果

对式(12)~(15)进一步利用软件 Fortran 进行了数值计算. m 取几个奇数倍半波天线的辐射角分布和辐射电阻,亦计算了 m 取几个偶数倍半波天线的辐射角分布和辐射电阻,计算的结果用 Origin 软件绘制,如图 2 所示. 数值计算结果直观地显示:当 m 以奇数倍增大或以偶数倍增大(天线的长度增长),天线的辐射能力增大,但辐射方向越来越趋近沿天线的方向,电磁波沿着与天线垂直的侧向辐射相对来说越来越弱,这种趋势在 m 为奇数的情况更为明显. 当 $m=2, 4, 6$ 情况下的辐射角分布的数值计算结果(如图 2 的右半部分所示)与国内许多电动力学教材^[2-8]中相应的示意图比较发现,这些教材中所给出的当 $m=2, 4, 6$ 情况下辐射角分布示意图存在一定的失误;然而这种现象在部分电动力学教材^[1, 9]也没有出现,他们的示意图与这里的数值计算结果基本相吻合.

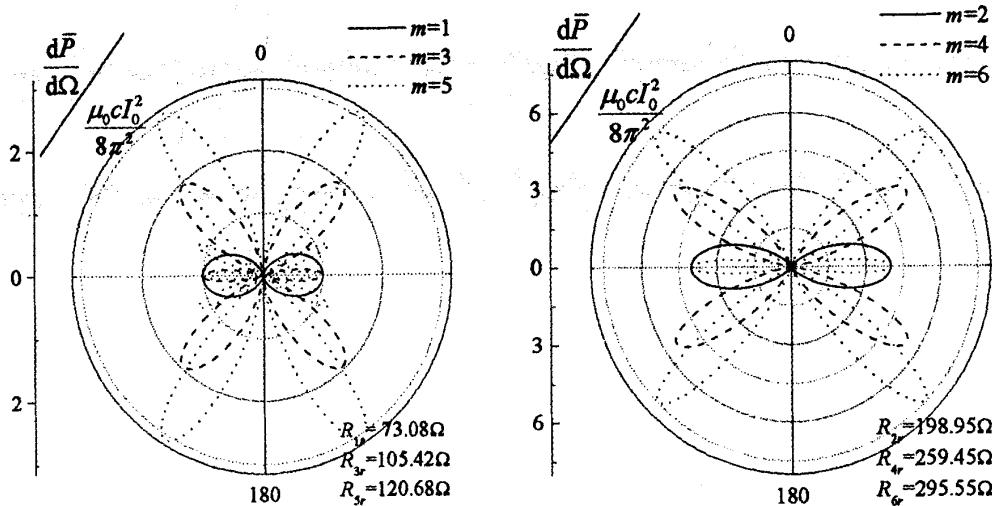


图 2 辐射角分布及辐射电阻

参考文献

- [1] 刘觉平. 电动力学[M]. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2004; 317-321.
- [2] 曹昌祺. 电动力学[M]. 2 版. 北京: 人民教育出版社, 1962; 191-197.
- [3] 蔡圣善, 朱耘, 徐建军. 电动力学[M]. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2002; 316-316.
- [4] 岚福春, 郑春开. 电动力学[M]. 北京: 北京大学出版社, 2003; 174-174.
- [5] 仁毅志. 电动力学简明教程[M]. 天津: 南开大学出版社, 2003; 178-178.
- [6] 罗春荣, 陆建隆. 电动力学[M]. 3 版. 西安: 西安交通大学出版社, 2000; 186-186.
- [7] 张民宽, 石开屏. 电动力学[M]. 开封: 河南大学出版社, 1990; 236-236.
- [8] 汪德新. 电动力学[M]. 北京: 科学出版社, 2005; 259-259.
- [9] 王秀江, 刘迎春. 电动力学[M]. 长春: 吉林大学出版社, 2000; 134-138.

编辑:琳莉

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>