

# 一种近场调制型芯片天线特性的研究

王文若 杨国辉 吴群

(哈尔滨工业大学电子与信息工程学院, 哈尔滨 150001)

**摘要:** 近场直接天线调制 (NFDAM) 技术是新近出现的一种高安全性宽频带调制技术, 它改善了传统调制技术中系统结构复杂、通信的安全性差等特点。应用 NFDAM 技术所设计的近场调制型芯片天线能够发射一种与方向相关的信号, 所辐射的远场信号由于天线近场电磁边界条件的改变而进行调制, 本论文通过在主天线附近放置具有开关的反射器的方式实现改变天线辐射特性, 开关的闭合和断开的控制改变反射器的反射特性, 从而形成不同组合的天线形式。本文设计完成了一个工作在 60GHz 的最简化近场调制型芯片天线, 利用 CST 电磁仿真软件和 MATLAB 软件对天线远场的辐射特性进行了仿真和分析, 对近场调制型芯片天线的调制作用及通信的安全性进行了验证。

**关键词:** 电介质透镜; 偶极子天线; 调制; 安全通信; 硅基板; 反射器; 开关

## Research on the Characteristic of the Near-Field Modulation On-Chip Antenna

WANG Wen-ruo, YANG Guo-hui, WU Qun

(School of Electronic Information Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 15001, China)

**Abstract:** A new modulation technique named near-field direct antenna modulation is introduced, which simplifies the integrated circuit and improves the communication security. Based on the technology, a near-field modulation on-chip antenna is designed, which can radiate a direction-dependent fashion information. In this technology, the radiated far-field signal is modulated by changes in the antenna near-field electromagnetic (EM) boundary conditions. The design in this paper uses the reflections with switches beside the main antenna to change the antenna characteristic. The state of switch can change the reflection characteristic and then many different antenna pattern are achieved. Using CST EM simulation software and MATLAB software to simulate the far-field characteristic of the simplified near-field modulation on-chip antenna operating at 60GHz, it is proved that the near-field modulation on-chip antenna can modulate information and produce a secure communication link.

**Key words:** dielectric lens; dipole; modulation; secure communication; silicon substrate; reflection; switch

## 引言

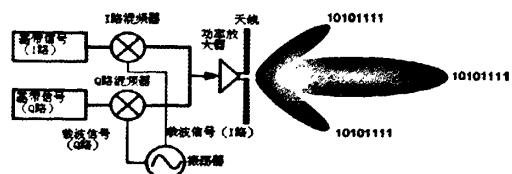
19 世纪晚期至 20 世纪初期, 信息的无线传输开始发展。在 100 多年的发展历程中, 传统的信息调制方式在不断的改进中已经可以实现很多功能, 并能基本达到使用的要求和目标, 但人们对于集成电路信息传输的安全性的追求并没有减少。为了提高信息传输的安全性, 一些新的方法被提出。近场直接天线调制 (Near-Field Direct Antenna Modulation, NFDAM) 技术是近期提出的一种新的调制方法。它的绝对带宽很宽、通信安全性高, 若将它应用在近距离传输 (Near Field Communication, NFC) 系统中, 可以改善传输速率低以及安全性差的问题。

本文首先介绍了传统调制方法的工作原理, 而后针对其对电路要求过高以及通信的安全性低等特点提出了新型的调制方法, 即近场直接天线调制 (NFDAM) 技术, 应用 NFDAM 技术设计的近场调制型芯片天线不仅能实现调幅调相作用, 并且提高了通信的安全性。由于国内外在 NFDAM 方面只进行了初步的研究, 理论还不够成熟。本文通过 CST 电磁仿真软件设计完成了工作频率为 60GHz 的电

参数理想的最简化近场调制型芯片天线, 并对天线辐射的远场信号进行了仿真, 利用 MATLAB 软件对近场调制型芯片天线的特性进行了研究。

## 1 传统信息调制方法

图 1 显示了传统发射机的转换框图。在这个构架中, 同相 (I) 与正交 (Q) 信号进行了基带调制, 而后上调至发射射频载波。调制信号通过功率放大器而后通过天线进行发射。正如图 1 所示, 在天线主波束方向上的接收机接收到的信号与在天线旁瓣方向上的接收机接收到的信号相同。在不同方向上, 接收数据唯一不同的是, 信号的功率和时间的变化。因此, 一个高灵敏度的接收机是有可能在通信过程中窃听到信息的。



传统调制如图 2 所示, 由于在系统传输过程中

天线本身保持不变，在这种情况下，一个放置在侧方向上的灵敏度高的窃听器能够接收到基带信号的所有变化，从而解调出信号。

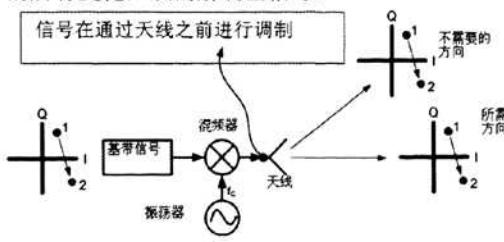


图 2 基带调制

NFDAM 技术通过应用与方向相关性强的信息传输方法克服了信息传输的安全性问题。

## 2 NFDAM 系统理论基础

图 3 显示的是 NFDAM 调制过程，图 4 显示的是最基础的近场调制型芯片天线模型。左侧放置的是一个偶极子天线，在天线临近位置上放置了一个反射器，此反射器是由两个金属片以及一个将它们连接在一起的理想开关所组成的。开关作用为改变反射器的有效电长度。假设主偶极子天线在  $z$  方向发射一个信号  $A_0 \cos(\omega t + \varphi_0)$ ，它垂直于天线轴平面。其中一部分主信号辐射到天线近场反射器上，因而反射器在  $z$  方向反射出一个信号  $A_1 \cos(\omega t + \varphi_1)$ 。关闭开关，能够改变反射有效长度以及反射特性，从而使反射信号有不同的相位和幅度。在这两个情况下， $z$  方向的远场信号可以通过以下两个式子表示：开关打开：

$$A' \cos(\omega t + \varphi') = A_0 \cos(\omega t + \varphi_0) + A_1 \cos(\omega t + \varphi_1)$$

开关闭合：

$$A'' \cos(\omega t + \varphi'') = A_0 \cos(\omega t + \varphi_0) + A_2 \cos(\omega t + \varphi_2)$$

调制后的信号在远场时的实部和虚部分别对应在信号的星座图中。

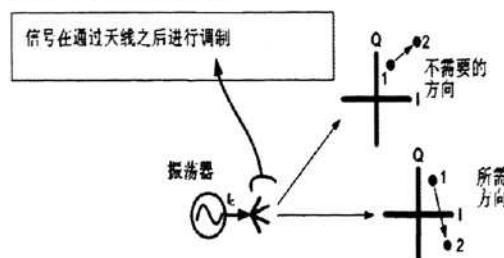


图 3 NFDAM 系统调制过程

## 3 近场调制型芯片天线可实现调制作用

本设计中采用的天线形式如图 5 所示，它

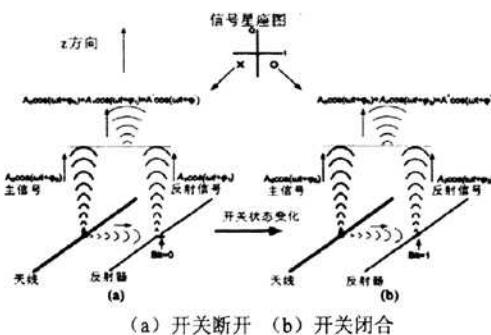


图 4 使用带有开关的反射器来对信号进行调制

是由偶极子天线、有开关的反射器、硅基板 ( $\epsilon_r=11.7$ ) 以及透镜组成，透镜可以将平面波能量转化为有用的能量，从而提高了辐射效率。所设计的天线的工作频率为 60GHz。



图 5 使用一个电介质透镜，从背面辐射

### 3.1 最简化近场调制型芯片天线的设计

此设计中选择的是有一对反射器且每个反射器上只有一个开关的天线。涉及到的参量有：(1) 变量：对称振子的臂长  $l$ ，反射器与主天线之间的距离  $m$ ，反射器长度  $w$ ，基板厚度  $h$ ，透镜半径  $r$ ；

(2) 定量：主天线以及反射器宽度均为  $2a=10\mu\text{m}$ ，主天线以及反射器厚度均为  $5\mu\text{m}$ ，半波振子两臂之间间距为  $d=10\mu\text{m}$ 。由于开关有两个状态：开和关，因此一对反射器上的开关有三个不同状态：都断开，都不断开，一个断开一个不断开。

选择其中一种天线形式(本文中选择的是两个反射器上开关都闭合的天线)，利用 CST 软件仿真以及设计优化，最终得到一组尺寸参量使三种形式下的天线的远场辐射特性均理想。参量值为： $l=426.5\mu\text{m}$ ， $m=250\mu\text{m}$ ， $w=1250\mu\text{m}$ ， $h=250\mu\text{m}$ ， $r=1675\mu\text{m}$ 。

图 6(a) 中显示的是其中一种天线模型，图 6(b) 为此天线相对应的仿真结果。

由仿真结果得， $f=60\text{GHz}$  时， $S_{11}=-23.110\text{dB}$ ， $VSWR=1.150$ ， $D=5.342\text{dBi}$ 。结果较理想。

### 3.2 近场调制型芯片天线特性的研究

利用 CST 仿真软件对在不同天线形式下同一方向辐射的远场信号进行了仿真，如果在不同天线

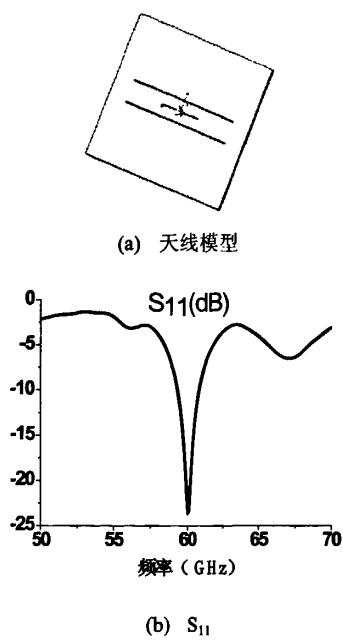


图 6 两个开关均闭合的天线

形式下同一方向辐射的远场信号的幅度和相位均不相同，则可实现调幅调相作用。在 CST 软件中的正  $y$  方向的远场位置上放置一个探针，对其进行仿真，仿真结果见图 7 所示。

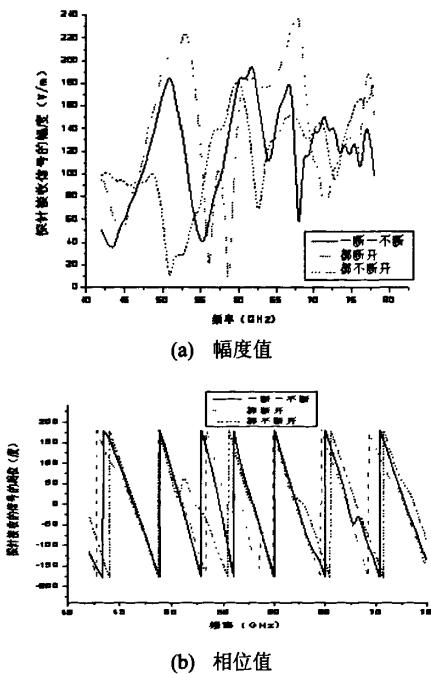


图 7 三种天线形式下同一方向辐射的远场信号的仿真图

三种情况下的探针幅度和相位分别是：

$A=179.7V/m, \varphi=179.8^\circ; A=155.8V/m, \varphi=170.9^\circ; A=182.3V/m, \varphi=-177.4^\circ$ 。将所测的结果对应在星座图中，可得信号点之间距离的最大值为  $43.4V/m$ 。基带信号不同，所对应的开关情况不同，从而天线形式也不相同。不同的天线形式下，当载波信号相同时，在同一方向上辐射的远场信号的幅度和相位均不相同，由此验证了近场调制型芯片天线可以实现调幅调相。

#### 4 近场调制型芯片天线的通信安全性高

表 1 显示的是利用 CST 得到的在不同天线形式下，不同方向辐射的远场信号的幅度和相位的仿真结果。

表 1 不同天线形式、不同方向辐射的远场信号

探针位置	两个反射器均不断开	两个反射器均断开	两个反射器一个不断开一个不断开
(Theta, 90, 90, 50000)	$A=179.7V/m$ $\varphi=179.8^\circ$	$A=182.3V/m$ $\varphi=177.4^\circ$	$A=155.8V/m$ $\varphi=-170.9^\circ$
(Theta, 135, 90, 50000)	$A=183.8V/m$ $\varphi=152.9^\circ$	$A=180.5V/m$ $\varphi=154.2^\circ$	$A=184.4V/m$ $\varphi=158.2^\circ$
(Theta, 90, 135, 50000)	$A=29.31V/m$ $\varphi=-146.9^\circ$	$A=7.461V/m$ $\varphi=158.7^\circ$	$A=18.72V/m$ $\varphi=144^\circ$
(Theta, 90, 45, 50000)	与(Theta, 90, 135, 50000)所测得的值相同		
(Theta, 45, 90, 50000)	与(Theta, 135, 90, 50000)所测得的值相同		

利用 MATLAB 将不同天线形式下的探针接收到的信号的变化趋势绘制出来，如图 8 所示。

通过绘图结果可以看出，当天线形式发生变化时，不同方向辐射的远场信号的变化趋势是不一样的。所以，窃听收信机不可能通过接收到的信号的变化来解调出正确的信号。因此，可以实现安全通信。

#### 5 结论

本文建立了一种新型双反射器的天线模型，每个反射器通过一个开关的不同状态来控制其反射特性，该天线中心频率为  $60GHz$ ，通过对天线进行

参数仿真和优化, 结果说明, 在三种开关组合状态下, 该天线的辐射特性均理想。

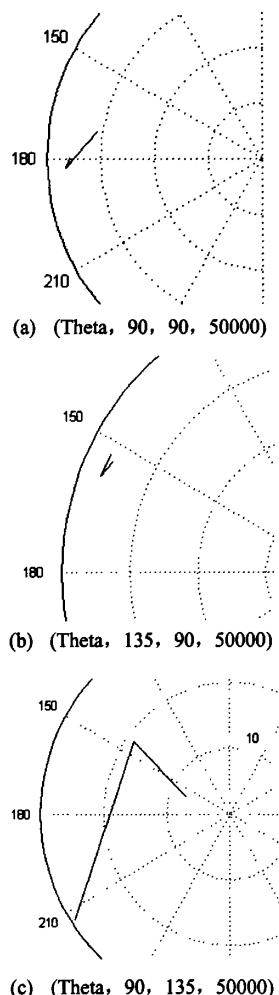


图 8 不同天线形式下的探针接收到的信号的变化趋势

为研究其近场调制特性, 在等功率输入、不同开关状态下, 通过 CST 软件仿真分析, 得到了远场

接收信号的幅度和相位均不相同, 从而验证了该近场调制型芯片天线可以实现调制作用。同时, 在等功率输入、不同开关状态下, 采用 CST 电磁仿真软件得到了在不同方向接收到的信号, 并应用 MATLAB 软件将信号对应到星座图上, 结果表明非期望辐射方向接收的信号与主方向信号的变化规律有很大的区别, 表明了窃听接收机无法根据接收到信号的变化来解调出正确的信号, 从而验证了近场调制型芯片天线能够实现安全通信。

#### 参 考 文 献

- [1] Aydin Babakhani, David B. Rutledge, and Ali Hajimiri. Near-Field Direct Antenna Modulation[J]. IEEE Microwave Magazine, 2009, 10(1): 36-46.
- [2] Arthur H. Chang, Aydin Babakhani, and Ali Hajimiri. Near-Field Direct Antenna Modulation (NFDAM) Transmitter at 2.4GHz[C]. IEEE Antennas and Propagation International Symposium, 2009: 1-4.
- [3] A. Babakhani, D. B. Rutledge, and A. Hajimiri. A Near-Field Modulation Technique Using Antenna Reflector Switching[C]. IEEE ISSCC Digest of Technical Papers, 2008: 188-189.
- [4] Gabriel M. Rebeiz. RF MEMS Theory, Design And Technology[M]. USA: A John Wiley & Sons Publication, 2003.
- [5] Aydin Babakhani, Xiang Guan, Abbas Komijani, Arun Natarajan, Ali Hajimiri. A 77-GHz Phased-Array Transceiver With On-Chip Antennas in Silicon: Receiver and Antennas[J]. IEEE Journal of Solid-State Circuits, 2006, 41(12)
- [6] 吴群, 宋朝晖. 微波技术[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2004

## 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](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>