

ISTE WILEY

NFC

设备设计宝典


天线篇

[法] 多米尼克·帕雷特 (Dominique Paret) 著

邹俊伟 等译



Antenna Designs for NFC Devices

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

天线是NFC设备中的关键部件。本书从理论和实践的角度，对NFC设备不同种类天线的设计技术从标准层面到实际匹配层面都进行了详细讲解，并给出了大量实用数据，对于NFC设备的研发设计与调试有较强的指导意义。

本书适合从事NFC设备的设计、研发和制造的专业人士阅读，也可作为于高校电子工程专业师生的参考书。

NFC 设备设计宝典： 天线篇

[法] 多米尼克·帕雷特 (Dominique Paret) 著
邹俊伟 等译



机械工业出版社

天线是近场通信（NFC）设备中的关键部件。本书从理论和实践的角度，对 NFC 设备不同种类天线的设计技术从标准层面到实际匹配层面都进行了详细讲解，并给出了大量实用数据，对于 NFC 设备的研发设计与调试有较强的指导意义。

本书适合从事 NFC 设备的设计、研发和制造的专业人士阅读，也可作为高校电子工程专业师生的参考书。

Copyright © ISTE Ltd 2016

All Rights Reserved. This translation published under license. Authorized translation from the English language edition, entitled Antenna Designs for NFC Devices, ISBN: 9781848218413, by Dominique Paret, Published by ISTE Ltd and John Wiley & Sons, Inc. No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of the original copyrights holder.

本书中文简体字版由 Wiley 授权机械工业出版社独家出版，未经出版者书面允许，本书的任何部分不得以任何方式复制或抄袭。

版权所有，翻印必究。

北京市版权局著作权合同登记 图字：01-2017-1398 号。

图书在版编目（CIP）数据

NFC 设备设计宝典·天线篇/(法) 多米尼克·帕雷特 (Dominique Paret) 著; 邹俊伟等译. —北京: 机械工业出版社, 2018. 4

书名原文: Antenna Designs For NFC Devices

ISBN 978-7-111-58946-4

I. ①N… II. ①多… ②邹… III. ①超短波传播—天线—设计 IV. ①TN014

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 006818 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 吕 潇 责任编辑: 吕 潇

责任校对: 佟瑞鑫 封面设计: 马精明

责任印制: 张 博

三河市国英印务有限公司印刷

2018 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 14 印张 · 267 千字

0001—2500 册

标准书号: ISBN 978-7-111-58946-4

定价: 69.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: 010-88361066

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: 010-68326294

机工官博: weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网: www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网: www.cmpedu.com

译者序

NFC (Near Field Communication, 近场通信), 是一种近距离无线通信技术, 与其他近距离通信技术相比, NFC 具有独特的安全优势和快速接入能力, 填补了 WiFi、蓝牙等其他无线技术的使用场景空白。尽管 NFC 并非是一个新技术, 但由于过去 NFC 应用使用场景比较少, 因此大众对它的认知度并不高。

随着“Apple Pay”“三星 Pay”“华为 Pay”“小米 Pay”等手机 NFC 支付方式的逐步普及, 移动支付的飞速发展正带动 NFC 技术开始一个新的应用热潮。但当智能手机、智能手环等多种形状和材质的设备上附加 NFC 功能时, 导致 NFC 设备和天线的工作电磁环境更为复杂, 如何设计 NFC 设备和天线成为工程设计人员面临的难题, 此外, 在 NFC 设备的设计工作中, 要遵循诸多的设计规范与约束, 译者作为高校教师, 同时作为较早接触 NFC 技术、开发 NFC 应用的科技研究人员, 对系统介绍 NFC 设备和天线设计规范和原则方面中文资料的需求和匮乏有深刻的体会, 因此, 我们选择了两本系统介绍 NFC 概念、原理、技术约束及规定的原文书, 进行翻译出版, 希望为 NFC 工程设计人员提供较为准确、全面的 NFC 设备和天线设计知识。

原书的作者 Dominique Paret 在 NFC 领域工作近 20 年, 写过很多关于这个主题的文章, 在国内翻译出版的有《超高频射频识别原理与应用》等著作, 在射频通信领域是理论与应用结合的专家。此次引进的这两本书是作者 2016 年的最新著作, 对 NFC 特定应用的集成电路和天线(硬件)的具体功能进行详细、系统的描述, 填补了对 NFC 物理层——空中接口的研究的空白。

书中除介绍 NFC 基本概念和 NFC 设备运行原理外, 还收集、编译和整理了一个技术数据库, 它由各种通用工业实例以及具体和详细的“NFC 设备设计以及相关知识”的实例组成, 全书叙述由浅及深, 由结构、实例入手, 讲述设计 NFC 设备需要遵循的约束, 适合工程技术人员、教师、学生等 NFC 领域的研究者阅读, 可以作为 NFC 基本技术和应用培训教材, 也可以作为有关 NFC 设备设计过程中的约束的专门手册。

《NFC 设备设计宝典: 设计约束篇》讲述了设计 NFC 相关设备时需要遵循的标准、规则和约束。书中共分 4 部分, 第 1 部分, 囊括了很多关键的技术问题, 对于了解当前 NFC 设备的应用问题, 是非常重要的。该部分从讲述 NFC 运行原理开始, 继而描述 NFC 元件结构, 给出设计时适用的结构规范约束, 主要是 NFC 射频

级设计、天线设计及与之直接关联的连接问题；第2部分，将 NFC 应用进行分类，按照分类介绍其成果及相应的满足应用目标需要的设计约束；第3部分，阐述了设计 NFC 设备及其天线的框架和背景，描述与 NFC 规范和标准（ISO、NFC Forum、EMV 等）内容存在直接和间接相关的结构约束、各种应用的功能约束，以及对这些约束的处理方法；第4部分，介绍专门讨论 NFC 系统及其天线的测量和测试的约束，讨论各种 NFC 特定组件（天线，线圈等）的值和特性的测量的约束，以及符合标准的产品的的主要约束的一致性测试。

《NFC 设备设计宝典：天线篇》讲述了 NFC 设备的天线设计的约束设计方法，书中按照 NFC 天线的组成结构及通信原理讲述各部分的约束规则。书中首先回顾 NFC 设备天线设计的约束条件（第1章），介绍 NFC 内部原理（第2章），然后重点介绍 NFC 天线的组成结构的约束规则，包括发起者天线（第3章）、接收者和标签的天线（第5章）、发起者-接收者天线对及其耦合（第7章）、发起者—接收者耦合和负载效应（第8章），中间适时给出应用实例，包括发起者天线的应用实例（第4章），发起者、接收者天线设计的详细示例（第6章），并在最后给出“如何进行一个 NFC 项目”一节，指导读者展开实际应用。

NFC 中文译著比较少，本书翻译过程中面临的一个困难是，有很多专业名词及缩略语是否翻译，如何进行中文翻译，译者进行了仔细斟酌，但仍难免有疏漏之处，如读者发现任何不理想之处，望能不吝赐教，我们将在再版时予以纠正。特别感谢范春晓、冯钊、刘亚辉、闫萌、朱翀、尹建、陈建文、安亚超、徐生、蔡宇等为本书翻译所做的工作。值得注意的是，为了更直观地将作者的思路与理念呈现到读者面前，本书中的物理量符号、公式等均与原著保持一致。

机械工业出版社对本书的出版予以高度重视，编辑们在出版过程中指出了很多问题，提出了很多宝贵建议，提高了本译著的质量。本书出版付印过程中参与服务的还有多位台前幕后的工作人员。对此予以特别感谢！

邹俊伟

原书前言

我从一开始（距现在超过 15 年多）就在 NFC 领域工作，过去写过很多关于这个主题的文章。目前，NFC 在操作原理基础方面的研究已经取得了长足的进步，也出现了各种精彩纷呈的 NFC 应用软件（特别是在智能手机上）。然而，关于 NFC 特定应用的集成电路和天线（硬件）的具体功能和秘诀的研究文献相对较少，对物理层——空中接口——的研究依然相对很少。我希望这本书能很好地填补这个空白。

我希望弥补这个不足之处不是出于情怀，而是因为它是一个日常的现实。往往软件错误一经解决（理论上，应用程序如果要正常工作，其关键在于物理部分——开放系统互连（OSI）模式中的较低层次——设计者和用户经常忽视了），他们会说“一切都会正常！”。不幸的是，由于适用于不同应用和物理环境的多种形状因子的天线，空中接口的通信给我们带来了需要认真考虑的问题和严酷的现实。如果不考虑这些，就什么也做不到。在我的职业生涯中，我经常说：“如果主板不工作，无论软件怎么好，都没什么值得夸耀”，换句话说：“不要本末倒置！”。

作为在这片神秘的“海域”驰骋多年，并且见证了 NFC 市场渐渐兴旺的众多公司的技术顾问，我将本书定位为面向工程师、技术人员、学生和这个领域源源不断的新来者，以帮助他们避免一些陷阱。目前，这些主题很少有现成的信息或基本技术的应用培训。因此，我现在向读者提供这本书，作为本领域入门的一个引导，以及提供有关 NFC 设备设计过程中的约束的专门知识。我已经收集、编译和整理了一个技术数据库，它由各种通用工业实例，由具体和详细的实例组成。这些实例大部分来自于我公司“dp-Consulting”。

本书不是关于市场营销的百科全书，也不是关于本书主题的泛泛而谈，而是对于技术细节和所有关于这些技术的功能和应用问题的深入检查和技术参考。读者在阅读本书的过程中将发现，NFC 的应用领域非常宽广，从无纸化数据交换到安全支付，这些应用由便携设备（比如手机和相机等等）控制，也可以应用在芯片卡、电视或汽车上。因此，我们需要考虑大量的“形状因子”、外部环境等问题，这些问题导致了一系列和天线相关的技术问题。

此外，为了不妨碍读者理解本书提到的设备，我已经做了最大努力让这本书尽可能清晰和有条理性，这样就可以立刻看到重点，以及相关的理论、技术、经

济因素等方面的内容。

现在，我希望读者会发现这本书很有趣并且很有用。最重要的是，享受它，因为它是献给你们的（不是我），如果有任何疑问，欢迎读者随时通过电子邮件联系我，提出关于本书内容和形式的任何评论、问题（当然，这些评论应该是建设性的）。电子邮件地址是 dp-consulting@orange.fr。

目 录

译者序
原书前言

第1部分 背 景

第1章 回顾 NFC 设备天线设计的约束条件	2
1.1 规范性约束	3
1.1.1 从发起者到接收者的上行链路	3
1.1.2 从接收者到发起者的下行链路	4
1.1.3 非接触式标准与 NFC 设备天线	5
1.1.4 技术	6
1.1.5 “NFC Forum 设备”和“NFC Forum 标签”	7
1.1.6 NFC Forum 设备通信的“模式”	8
1.1.7 NFC Forum 设备的角色	9
1.1.8 注意虚假广告	10
1.2 监管约束	10
1.2.1 RF 法规	10
1.3 NFC 市场的规范	11
1.4 NFC 技术规范	11
1.4.1 应用成果及其直接约束	12
1.5 天线设计应用约束	15
第2章 NFC 内部原理的介绍和概述	16
2.1 “非接触式”的物理基础与 NFC	16
2.1.1 传播和辐射的现象	16
2.1.2 场与空间区域的分类	16
2.1.3 空间区域	16
2.1.4 远场： $r \gg \lambda/2\pi$ (Fraunhofer 区)	17
2.1.5 中场： $r \approx \lambda$ (Fresnel 区)	17
2.1.6 近场： $r \ll \lambda/2\pi$ (Rayleigh 区) 和 NFC 的起点	17

2.1.7 非接触式, RFID 和 NFC 应用的注释说明	17
2.2 NFC 的概念	18
2.2.1 Biot-Savart 定律	19
2.2.2 圆形天线轴上一点的场 H	19
2.2.3 作为“ d ”一个函数的场 H 的衰减	21
2.2.4 矩形天线的轴上一点的场 H	22

第2部分 NFC 设备天线的方案与设计

第3章 发起者天线：具体计算	25
3.1 介绍	25
3.1.1 这里有一些发起者.....还有一些发起者	25
3.2 发起者天线的设计（不考虑外部环境的影响）	26
3.2.1 操作模式	27
3.2.2 扼要概述	28
3.2.3 集成电路的选择	35
3.2.4 法律约束方面与 EMC 污染	38
3.2.5 EMC 滤波	39
3.2.6 接收者的选择和其阈值 $H_{\text{threshold}}$	48
3.2.7 发起者天线的电感值的确定	49
3.2.8 简单天线	54
3.2.9 天线阻抗匹配电路	58
3.2.10 计算发起者天线线圈中的电流	61
3.2.11 总结和举例	63
3.2.12 模拟	65
3.2.13 天线辐射场 H 的值	67
3.2.14 工作距离的计算与取值	68
3.3 发起者天线的最大品质因数质量系数 Q	69
3.3.1 Q 和场的截止	69
3.3.2 在 ISO 字段	71
3.3.3 在应用中测量 Q	72
3.3.4 应用中带宽的测量	73
3.4 关于发起者过程的简要手册	74
第4章 发起者天线的应用实例	76
4.1 大天线	76
4.1.1 在“卡仿真-有电池”模式下与单 NFC 设备通信	76

4.1.2	在“标签-无电池”模式下与多个 NFC 设备通信	77
4.2	单设备中的大天线	77
4.2.1	接收者的机械格式	77
4.2.2	“形状因子”和接收者的天线尺寸	77
4.2.3	操作时需要的应用距离	78
4.2.4	估计由于距离或工作范围所产生的“负载效应”	78
4.2.5	环境（铜、铁氧体、电池等）	78
4.2.6	说明我们建议的几个措施	78
4.2.7	接收者必要的 H_d 场	80
4.2.8	发起者的天线级创建所必需的 H_0	80
4.2.9	功率 P	81
4.2.10	场 H ，必须由特定接收者的发起者生成	81
4.2.11	发起者的定义：读取器“着陆区域”的格式 （放置接收者的区域）	81
4.2.12	应用“系统”注意事项	81
4.2.13	直接驱动天线的商用集成电路	82
4.2.14	booster 放大器	83
4.2.15	逆调制值的问题	86
4.3	多天线中的大型天线	87
4.3.1	同步模式（暂时非复用）	87
4.3.2	暂时多路复用模式	88
4.4	多设备中的大型天线	90
4.5	发起者的其他示例	91
第 5 章	接收者和标签的天线：详细计算	94
5.1	简介：接收者	94
5.2	NFC Forum 标签	95
5.2.1	“技术子集”	95
5.3	天线接收者/标签问题介绍	97
5.3.1	接收者/标签的调谐	97
5.3.2	电感 L	98
5.3.3	电容 C	98
5.3.4	应用领域和额外功能的使用	101
5.4	最好的天线尺寸	103
5.4.1	接收者天线的尺寸	103
5.4.2	ISO 接收天线类别的应用示例	105

5.5 NFC 接收者和标签的工艺特性	109
5.5.1 NFC 接收者使用的集成电路数据规范	109
5.5.2 外置电容的数据规范	110
5.5.3 天线技术的工业数据规范	110
5.5.4 技术要点	110
5.5.5 保证无线供电的接收者的天线线圈最小数量的估算	113
第6章 接收者天线设计的详细示例	114
6.1 小天线的情况	114
6.1.1 4、5、6类或相近的示例	115
6.1.2 5类天线设计示例	115
6.1.3 举例	118
6.1.4 6类天线的设计示例	121
6.2 非常小的天线的情况	125
6.2.1 11、12、13类天线的设计示例	125
6.3 大型NFC天线或标签：A4格式	133
6.3.1 在马拉松和铁人三项运动中应用NFC号码比赛服	133
6.3.2 NFC标签的技术特性	134
6.4 特别大的天线的情况：A3格式天线	135
6.4.1 大型天线的内容与技术框架	135
6.4.2 传统概念	135
6.4.3 4天线网络示例	140
6.4.4 等式的简化	142
第7章 发起者—接收者天线对及其耦合	154
7.1 电路与耦合	155
7.1.1 互感	155
7.1.2 完全互感	157
7.1.3 不完全的互感	157
7.1.4 耦合系数 k	159
7.2 通过互感耦合的调谐电路	161
7.2.1 为什么说“几乎”	161
7.2.2 耦合指数 n	162
7.2.3 小结	163
7.3 调谐到相同频率的同相耦合电路	164
7.3.1 转换函数	164
7.3.2 转移系数 K_1	165

7.3.3 主要参数总结	166
7.3.4 当频率临近谐振频率的操作	168
第8章 发起者—接收者耦合和负载效应	180
8.1 由耦合所导致的负载效应	180
8.2 耦合调谐天线的主电流	181
8.2.1 发起者, 无负载 (磁场中不存在接收者)	181
8.2.2 发起者磁场中存在负载 (接收者) 的情况	182
8.2.3 环境因素对 R_2 的影响	184
8.3 一些改进想法	184
8.4 负载效应	186
8.4.1 定义和解释	186
8.4.2 负载效应中涉及的参数	187
8.4.3 工作距离的变化以及因此产生的耦合情况的变化	189
8.4.4 磁耦合及其后果	189
8.4.5 发起者的要求: 对接收者远程供电的电源的负载效应	189
8.4.6 发射磁场的质量	190
8.4.7 耦合系数和负载效应的例子	195
8.4.8 NFC 中的分流电路	200
8.5 如何进行一个 NFC 项目	204
总 结	
参考文献	211

第 1 部分

背 景

如果把任何现有的系统搭建成一个近场通信（NFC）系统，理论上我们只需要一个集成电路，一些微型的无源器件（电阻、电感和电容）和一个天线。但这只是理论，事实上这个搭建工作要复杂得多，考虑到海量的 NFC 应用领域，我们要应对、重视和满足很多的约束，才能得到最终的可行并且可靠的解决方案。

虽然本书第 1 部分是介绍，其中也包含了很多重要的技术要点，掌握这些内容能让读者真正领会专门针对设备天线方面的当前和未来要面对的应用问题。简而言之：这部分内容对于引导读者并理解本书是绝对重要的。这部分分成 2 章：

- 第 1 章给出了 NFC 系统设计约束的概要综述和直接相关的连接问题；
- 第 2 章简明回顾了一些支配 NFC 工作的基础物理定律。

现在请读者自己去探索这一切吧。

第 1 章 ● ● ● ●

回顾 NFC 设备天线设计的约束条件

为了便于理解，让我们先了解几个关于射频识别（Radio Frequency Identification, RFID）、非接触和近场通信（Near-Field Communication, NFC）的规范和（或）标准的专业术语。

表 1.1 提供了一些在不同应用领域中的行业术语的例子。

表 1.1 主要非接触式发射器和响应器的 ISO 术语

ISO 组织		发射机	应答器
		基站	接收者/发射机应答器
		读卡器	卡片
		调制解调器	
		耦合器	标签
SC 17 WG8	接近式卡片和个人装备	接近式耦合装置 (Proximity Coupler Device, PCD)	接近式 IC 卡 (Proximity Integrated Circuit Card, PICC)
	邻近式卡片和个人装备	邻近式耦合装置 (Vicinity Coupler Device, VCD)	邻近式 IC 卡 (Vicinity Integrated Circuit Card, VICC)
SC 31 WG4	项目管理/RFID	询问器	标签
SC 06	NFC	发起者	接收者
		等	等

在这本专门研究 NFC（起初由 ECMA 在瑞士开发，之后由 ISO SC 06 行动委员会在 2000 年再次接管）的书中，我们将只使用官方 ISO 术语：“发起者（initiator）”和“接收者（target）”。基于此，所有其他术语将几乎不会被提到，我们只需粗略地看一下上述原则即可。

在 NFC 应用的背景下，本章将回顾这部分内容，NFC 协议及其相关的主要内容约束和结构性问题，以及它们对天线设计的直接影响，这些必须加以处理才能配得上——在法律意义上（防止虚假广告诉讼）——“符合 NFC ISO 18092 或 21481”

或 NFC Forum 标准”（主动或被动模式、无电池或电池辅助等）的标签。

正如我们稍后将看到的，存在着各种此类问题。

1.1 规范性约束

当我们设计一个 NFC 系统和相关的天线时，需要考虑的技术和协议的约束通常是有关开放式通信系统互联参考（Open Systems Interconnection, OSI）模型的“低层”即第1和第2层（分别为物理层和数据链路层/介质访问层）的法律约束和物理约束，没有它们无法建立整个系统。由于天线是第1层（物理层）的一部分，无论出于何种目的，它都处于领域的中心。

必须被遵守的 NFC 信号的形式（外观和振幅）已经在国际标准 ISO 18092 NFC IP1 和 ISO 21481 NFC IP2 中详细说明了。这两个标准广泛借鉴了非接触式接近芯片卡标准 ISO 14443 A & B（包括各种类别的天线-1-6）和用在专利产品 FeliCa 上的日本标准 JIS X6319-4，除了这些，还有可能是专有的和（或）市场部门具体的标准，比如（主要有）NFC Forum、EMV、CEN 等。为适应各种特定业务应用，天线经常需要遵循特定的距离和体积（以 cm^3 为单位）。

为结束这一介绍，将 NFC 的规范框架搁置一旁，在本书里发生在发起者和接收者之间的数据交互均做如下定义：

- 1) “从发起者到接收者”被称作“uplink（上行链路）”；
- 2) “从接收者到发起者”被称作“downlink（下行链路）”。

1.1.1 从发起者到接收者的上行链路

为了避免一些理解问题，我们需要注意，无论接收者有多么的智能，它仅仅在发起者发出指令的基础上才开始工作，发起者就是“发射器”。发起者也包括一个“接收器”去获取和解析另一个方向的通信。

因此，发起者本质上是一个“收发器”。

此外，为了防止许多潜在的混淆案例，两种潜在的场景由 ISO 正式定义（ISO 19762-3-信息技术-自动识别和数据采集（AIDC）技术-词汇-第3部分：射频识别）：

1) 由发起者发送的射频（RF）波提供必要的能量给接收者，在这种情况下，接收者是“远程供电的”或“无源的”；

2) 由发起者发送的射频波所提供的能量不足以给接收者远程供电（这可能是由于所需的操作距离、所使用的技术、现行法规、恶劣的环境等原因造成的），当然，这是很重要的。这时接收者是“有源的”，我们正在处理其他类型的天线。

注意：我们会经常把远程供电的接收者称为“被动型”，把有源的称为

“主动型”，但是这种说法事实上是完全错误且无意义的（详见后面的解释）。

我们已经把这一概念讲解的十分清楚了。再次强调，使用正确的术语是十分重要的。

1.1.2 从接收者到发起者的下行链路

无论接收者的供电类型（远程供电型或有源型），设备必须有一种电子通信手段建立从接收者到发起者的下行链路，我们把它叫做反向链路。下行链路可以采用不同的方式建立，这取决于我们所使用的原理。

不要把电能/能量转移系统和上行链路、下行链路的通信工作原理混淆，这一点十分重要。

1. “被动型”接收者

一个接收者被定义为“被动型（被动模式）”完全是因为接收者在反向链路发送信号给发起者时没有使用射频发射器。

2. “主动型”接收者

一个接收者被定义为“主动型（主动模式）”是因为接收者在反向链路发送信号给发起者时使用了射频发射器，与是否具有独立的电源毫无关系。

3. 负载效应

为了实现下行链路，发起者会提供一个稳定未调制的载波，并允许接收者根据自己的工作方式采取适当行动，以通过调节电气特性与发起者进行通信。基于此，产生了两种完全不同的调制技术，其中一个可以被认为是“远亲”：

1) 一种基于接收者天线负载的“阻抗（电阻和/或电抗）调制”的原理，被称为被动负载调制（PLM），这种技术在市场上被广泛的运用。

2) 另一种是较新的技术，被称为主动负载调制（ALM），它依然和向接收者供电的方式（遥控型或电池辅助型）无关，接收者总是设置一个低功率（迷你）发射器，因此在这段时间里，只有返回给启动器的信号是“放大”的。这样，要用一个新的适配天线。

针对这两种近场调制产生的实际效果，我们通常用“磁耦合”来表示“逆向调制”。

在一些特定的系统（比如点对点模式下的 NFC 设备），在半双工系统的下行传输阶段，发起者再也不会提供载波为返回信号提供支持。在这个被称为 NFC 主动模式的特殊的情况下，为了保持与发起者的通信，接收者会发射自己产生的电磁波，并且校准为与载波相同的频率，这样它也就成为了一个主动型的 NFC 设备。

4. 逆向调制电压

一旦发送了询问命令，发起者就切换到监听模式以监听来自接收者的响应。为此除了“点对点”模式之外，发起者不断发送载波并等待，确保接收者知晓其