



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105868810 B

(45)授权公告日 2019.07.16

(21)申请号 201610202364.7

(22)申请日 2016.04.01

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 105868810 A

(43)申请公布日 2016.08.17

(73)专利权人 王清斌
地址 100085 北京市海淀区上地东路1号院
1号楼401-B017

(72)发明人 王清斌

(74)专利代理机构 济南圣达知识产权代理有限公司 37221

代理人 赵妍

(51)Int.Cl.
G06K 17/00(2006.01)

(56)对比文件

CN 204030732 U,2014.12.17,
CN 105099527 A,2015.11.25,
CN 102710299 A,2012.10.03,
CN 104802556 A,2015.07.29,
CN 105262513 A,2016.01.20,

审查员 刘雨章

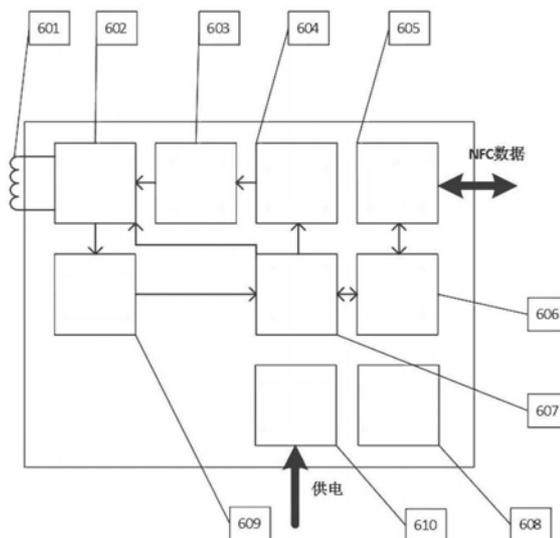
权利要求书1页 说明书11页 附图8页

(54)发明名称

一种为能量采集和小尺寸天线优化的NFC读写器接口

(57)摘要

本发明属于无线通信技术领域,具体涉及一种为能量采集和小尺寸天线优化的NFC读写器接口,所述NFC读写器接口包括天线、可调匹配电路、天线驱动单元、调制器、解调器及MCU内核;所述天线、可调匹配电路和天线驱动单元构成天线谐振环路,本发明的有益效果:本发明可大大提高NFC通信接口的无线能量传输效率,为带有NFC标签接口的装置提供大量电能。这些额外的电能将允许装置提供更多的功能,更高的性能,更好的用户体验。同时,本发明允许NFC通信接口使用小型天线而不会影响到NFC通信性能。小型天线使设备开发变得非常灵活,大大降低了NFC系统的开发难度。本发明大大扩展了NFC通信接口在当前及未来数年内的应用范围。



CN 105868810 B

1. 一种为能量采集和天线效率优化的NFC读写器接口,其特征在于,所述NFC读写器接口包括天线、可调匹配电路、天线驱动单元、调制器、解调器及MCU内核;

所述天线、可调匹配电路和天线驱动单元构成可实时切换高/低Q值工作模式的天线谐振环路;

在高Q值模式下,天线谐振环路具有高Q值低带宽,无线信号可以以极低的损耗被天线辐射出去;在低Q值模式下,天线谐振环路具有低Q值高带宽,适合NFC信号的发射;

所述天线、可调匹配电路、天线驱动单元、调制器及MCU内核依次连接,同时所述可调匹配电路还连接解调器的输入端,所述解调器的输出端连接MCU内核,所述MCU内核的输出端还连接可调匹配电路;

高Q值模式时天线谐振环路在13.56Mhz的Q值在50以上,低Q值模式时天线谐振环路在13.56Mhz的Q值在25以下。

2. 根据权利要求1所述的一种为能量采集和天线效率优化的NFC读写器接口,其特征在于,所述NFC读写器接口还包括电源管理单元、时钟系统及数据接口单元,所述数据接口单元通过FIFO单元连接到MCU内核上,所述数据接口单元用于接收NFC数据;

所述电源管理单元对所述NFC读写器接口上的元件进行供电;

所述时钟系统用于产生NFC读写器接口上需要的所有时钟。

3. 根据权利要求1所述的一种为能量采集和天线效率优化的NFC读写器接口天线谐振环路,其特征在于,所述可调匹配电路用于调节天线的阻抗,所述天线驱动单元对调制器产生的信号进行功率放大,并将放大过的信号通过可调匹配电路传送给天线。

4. 根据权利要求3所述的一种为能量采集和天线效率优化的NFC读写器接口天线谐振环路,其特征在于,所述天线谐振环路还包括Q值调节电路及Q值调节开关。

5. 根据权利要求4所述的一种为能量采集和天线效率优化的NFC读写器接口天线谐振环路,其特征在于,所述Q值调节开关与Q值调节电阻串联后与天线并联。

6. 根据权利要求4所述的一种为能量采集和天线效率优化的NFC读写器接口天线谐振环路,其特征在于,所述天线谐振环路包括两种工作模式,分别为高Q值模式及低Q值模式,两种模式可通过Q值调节开关实时切换控制。

7. 根据权利要求4所述的一种为能量采集和天线效率优化的NFC读写器接口天线谐振环路,其特征在于,所述Q值调节开关由一电信号实时控制开关的断开和闭合。

8. 根据权利要求4所述的一种为能量采集和天线效率优化的NFC读写器接口,其特征在于,所述可调匹配电路包括T型、PI型、L型或单一电容,并具有小于1db的低插入损耗,所述天线驱动单元具有小于5欧姆的输出阻抗。

9. 根据权利要求6所述的一种为能量采集和天线效率优化的NFC读写器接口天线谐振环路,其特征在于,所述天线电感值在1uH到10uH之间,天线面积在100mm²至5000mm²之间。

一种为能量采集和小尺寸天线优化的NFC读写器接口

技术领域

[0001] 本发明属于无线通信技术领域,具体涉及一种为能量采集和小尺寸天线优化的NFC读写器接口。

背景技术

[0002] NFC(近场通信)技术是近几年新兴的短距离安全通信技术。其使用了在空间衰减速度很快的磁场作为传递信息的媒介,实现了只有数个厘米的通信距离,具有安全性高、使用方便等优点。

[0003] 如图1所示,常见的NFC通信接口分为两种,分别是NFC读写器接口(Reader)101和NFC标签接口(Tag)102。典型的NFC通信发生于这两个接口之间。NFC是半双工双向通信,包含两个链路,分别为读写器至标签链路103,和标签至读写器链路105,两个链路各负责一个通信方向。

[0004] 读写器至标签链路103:NFC读写器接口负责产生一个中心频率在13.56Mhz的交变磁场104,并在此磁场上调至需发送的信息。当NFC标签接口位于这个交变磁场104内时,它就接收这个磁场携带的能量,并将这个磁场携带的信息进行解调并取得NFC读写器接口产生的信息。

[0005] 标签至读写器链路105:传统的NFC标签接口均为被动接口,不主动发射能量。它使用负载调制来发送信息。具体来讲,传统的NFC标签接口通过改变接收天线的负载以控制接收自交变磁场的能量大小,来达到调制和发送信息的目的。NFC读写器接口101可以通过测量发送天线上的电流强度变化感知NFC标签接口102的负载变化,并解调该信息。为了满足一定的通信带宽,NFC标签接口接收天线的Q值不能太高(小于50)。

[0006] 由于NFC读写器接口需要自身产生能量,一般应用于拥有较多能量的设备,如智能手机、平板电脑、POS终端。而NFC标签接口则被广泛使用在低功耗低能量设备上,如智能卡、智能标签等设备。

[0007] NFC标签接口102接收下来的交变磁场104的能量经整流稳压后可为自身和其他设备提供工作的能量。NFC能量采集在智能卡和智能标签上有着极为广泛的应用。

[0008] 图2为传统被动NFC标签接口的大致结构图。天线201一般由一圈或数圈线圈组成,负责接收交变磁场的能量与调制的信息;匹配202将天线201的阻抗调节至合适值;解调器203将接收到的信号解调,恢复为原始信息;负载调制205根据待发送的信息,改变天线201的负载来实现对交变磁场的调制;数据接口204通过数据总线与外围器件通信,配置该被动NFC标签接口,以及交换接收到的和待发送的NFC原始信息;整流稳压206将接收到的交变磁场的能量整流和稳压后,通过能量采集接口发送给外围器件。

[0009] 图3为传统NFC读写器接口的大致结构图。天线301一般由数圈线圈组成,负责产生交变磁场以及发送和接收NFC信号;匹配302将天线301的阻抗调节至合适值,以改善能量传输效率和调节传输功率;调制器304把待发送的NFC数据根据NFC协议调制为NFC信号,通过天线驱动303调制到天线301上;其中天线驱动303一般为低输出阻抗射频放大器,以提高效率

率;解调器309通过天线301的电流强度感知被动NFC接口由负载调制产生的信号,并将该信号解调;MCU内核307控制整个NFC读写器接口的工作,其任务包括根据NFC协议组织NFC数据、数据校验、与片外设备的通信、片上组件的管理与控制等等;数据接口305为该NFC读写器与片外设备通信的接口,一般为通用串行数据接口,如SPI,I2C等;FIFO306为数据接口305与MCU内核307之间的桥梁,作为双向通信的数据暂存器;时钟系统308产生该NFC读写器接口所需的所有时钟,包括13.56Mhz载波频率;片上电源管理产生片上组件所需的所有电源。

[0010] 传统NFC系统具有两个主要缺点。第一,被动NFC接口必须使用尺寸较大的天线来实现合理的通信距离和通信角度。这是由于NFC读写器需要感知NFC标签接口的负载调制来进行标签至读写器链路的通信。天线较小时由于与NFC读写器天线之间耦合系数较低,再加上自身Q值较低导致效率不高,造成负载调制的信号很弱无法被NFC读写器可靠地接收。第二,由于传统NFC系统中的被动NFC标签接口与NFC读写器接口的设计由于直接继承自RFID,其能量传输效率很低。被动NFC标签接口仅能从NFC读写器接口取得很少的能量(大约10mW至20mW),因此只能维持无源装置的简单操作,如读写内部内存等。

[0011] 新一代小型化设备如穿戴式设备、异型银行卡、物联网设备以及个人移动设备的外形小巧,无法安装尺寸较大的天线。这极大地制约着传统被动NFC标签接口的性能,造成通信性能不稳定、通信距离很近或完全无法通信,用户使用有着极大的不便。同时,对于目前以及未来几年内针对NFC的大量应用,如银行双界面卡、新型可视银行卡、智能穿戴式设备、传感网络等来说,传统被动NFC标签接口较低的能量接收效率极大地限制了这些新应用可以提供的功能及性能。

[0012] 为解决使用小天线负载调制信号很弱的问题,现有主流解决方案主要使用主动调制代替被动负载调制。由于使用主动调制的NFC标签接口主动发射信号,不依赖接收的交变磁场能量,故使用小天线也可以让NFC读写器接口很好的接收到NFC标签接口发送的信息。使用这个方案的产品主要是AMS和ST的NFC boosted frontend产品系列。然而主动调制技术的缺点也很突出。首先,由于需要主动发射能量,NFC标签接口发射的信号必须和NFC读写器接口发射的交变磁场频率和相位锁定来避免信号不稳定,这种方案需要复杂的锁相环和相位保持电路。这造成了NFC标签接口设计复杂,成本上升。第二,主动调制技术需要为NFC标签接口提供能量用以发射,这种技术无法在无源设备,如无源智能卡和标签上使用。第三,由于主动调制技术对NFC标签接口增加的复杂性,采用这个技术的NFC标签接口很难实现NFC能量采集。现有采用主动调制技术的产品无一支持NFC能量采集。

[0013] 为了缓解NFC标签接口能量接收能量少的问题,现有解决方案主要是从降低器件功耗入手,使得这少量的能量也可以维持装置的正常工作。这些方案包含使用更新的制造技术降低功耗(如从130nm制程升级到90nm制程)、增加装置休眠时间、降低装置工作频率等等。然而,这些手段要么提高了装置成本,要么限制了装置的性能。

发明内容

[0014] 为了有效解决上述问题,本发明提供一种为能量采集和小尺寸天线优化的NFC读写器接口。

[0015] 一种为能量采集和小尺寸天线优化的NFC读写器接口,所述NFC读写器接口包括天

线、可调匹配电路、天线驱动单元、调制器、解调器及MCU内核；

[0016] 所述天线、可调匹配电路和天线驱动单元构成天线谐振环路。

[0017] 进一步地，所述天线、可调匹配电路、天线驱动单元、调制器及MCU内核依次连接，同时所述可调匹配电路还连接解调器的输入端，所述解调器的输出端连接MCU内核，所述MCU内核的输出端还连接可调匹配电路。

[0018] 进一步地，所述NFC读写器接口还包括电源管理单元、时钟系统及数据接口单元，所述数据接口单元通过FIFO单元连接到MCU内核上，所述数据接口单元用于接收NFC数据；

[0019] 所述电源管理单元对所述NFC读写器接口上的元件进行供电；

[0020] 所述时钟系统用于产生NFC读写器接口上需要的所有时钟。

[0021] 进一步地，所述可调匹配电路用于调节天线的阻抗，所述天线驱动单元对调制器产生的信号进行功率放大，并将放大过的信号通过可调匹配电路传送给天线。

[0022] 进一步地，所述天线谐振环路还包括Q值调节电路及Q值调节开关。

[0023] 进一步地，所述Q值调节开关与Q值调节电阻串联后与天线并联。

[0024] 进一步地，所述天线谐振环路包括两种工作模式，分别为高Q值模式及低Q值模式，两种模式可通过Q值调节开关实时切换控制。

[0025] 进一步地，所述Q值调节开关由一电信号实时控制开关的断开和闭合。

[0026] 进一步地，所述可调匹配电路包括T型、PI型、L型或单一电容，并具有小于1db的低插入损耗，所述天线驱动单元具有小于5欧姆的输出阻抗。

[0027] 进一步地，所述天线电感值在1uH到10uH之间，天线面积在100mm²至5000mm²之间，高Q值模式时天线谐振环路在13.56Mhz的Q值在50以上，低Q值模式时天线谐振环路在13.56Mhz的Q值在25以下。

[0028] 本发明的有益效果：本发明可大大提高NFC通信接口的无线能量传输效率，为带有NFC标签接口的装置提供大量电能。这些额外的电能将允许装置提供更多的功能，更高的性能，更好的用户体验。同时，本发明允许NFC通信接口使用小型天线而不会影响到NFC通信性能。小型天线使设备开发变得非常灵活，大大降低了NFC系统的开发难度。本发明大大扩展了NFC通信接口在当前及未来数年内的应用范围。

附图说明

[0029] 图1为典型NFC通信示意图。

[0030] 图2为典型NFC标签接口结构示意图。

[0031] 图3为典型NFC读写器接口结构示意图。

[0032] 图4为耦合系数示意图。

[0033] 图5为NFC系统等效电路图。

[0034] 图6为一种为小尺寸天线和能量采集优化的NFC读写器接口的结构示意图。

[0035] 图7为一种为小尺寸天线和能量采集优化NFC读写器接口谐振环路与附属电路的简化电路图。

[0036] 图8为一种为小尺寸天线和能量采集优化的NFC读写器接口的模式控制状态机示意图。

[0037] 图9为第一种为小尺寸天线和能量采集优化的NFC标签接口的结构示意图。

[0038] 图10为第一种为小尺寸天线和能量采集优化NFC标签接口谐振环路与附属电路的简化电路图。

[0039] 图11为第一种为小尺寸天线和能量采集优化的NFC标签接口的模式控制状态机示意图。

[0040] 图12为第二种为小尺寸天线和能量采集优化的NFC标签接口的结构示意图。

[0041] 图13为第二种为小尺寸天线和能量采集优化NFC标签接口谐振环路与附属电路的简化电路图。

[0042] 图14为第二种为小尺寸天线和能量采集优化的NFC标签接口的状态机示意图。

具体实施方式

[0043] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图及实施例,对本发明进行进一步详细描述。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用于解释本发明,并不用于限定本发明。

[0044] 相反,本发明涵盖任何由权利要求定义的在本发明的精髓和范围上做的替代、修改、等效方法以及方案。进一步,为了使公众对本发明有更好的了解,在下文对本发明的细节描述中,详尽描述了一些特定的细节部分。对本领域技术人员来说没有这些细节部分的描述也可以完全理解本发明。

[0045] 本发明着重解决NFC标签接口如何有效地使用小尺寸天线,和NFC系统如何高效地传输能量这两个主要问题。下面先分析NFC标签接口天线与NFC读写器接口之间的无线能量传输问题。对于NFC系统的能量传输来说,系统能达到的最高效率 η_{max} 可以用以下公式来描述:

$$[0046] \quad \eta_{max} = \frac{U^2}{(1+\sqrt{U^2+1})^2} \quad (1)$$

[0047] 其中

$$[0048] \quad U = k\sqrt{Q_1Q_2} \quad (2)$$

[0049] k 为NFC标签接口天线与NFC读写器接口天线的耦合系数, Q_1 为NFC读写器接口谐振环路在13.56Mhz的Q值, Q_2 为NFC标签接口谐振环路在13.56Mhz的Q值。耦合系数指的是一个天线产生的磁感线可以穿过另一个天线的比例。一般而言,天线间距离越远,它们之间的耦合系数就越小。如图4所示,天线402产生了一个磁场,天线405到天线402的距离较天线404到天线402的距离近。因此穿过天线405的磁感线较穿过天线404的磁感线多,故天线405与天线402间的耦合系数比天线404与天线402间的耦合系数高。同时,耦合系数也与两个天线的相对大小有关。天线尺寸差别越大,在相同距离上天线之间的耦合系数也越小。如图4所示,在距离NFC读写器接口天线402距离相同时,穿过小尺寸天线401的磁感线比穿过大尺寸天线404的磁感线少,故天线401与天线402间的耦合系数比天线404与天线402间的耦合系数低。Q值为表征一个电路频率选择性及在该频率能量损耗的参数,可用以下公式计算:

$$[0050] \quad Q = \frac{X}{R} \quad (3)$$

[0051] 其中 X 为该电路的感抗或容抗, R 为该电路的等效串行电阻值。Q值越高,电路选择性越高,损耗越小,反之亦然。具体到天线谐振电路,Q值越高,该电路的等效串行电阻值相

比于该电路的感抗或容抗就越低,震荡过程中的损耗越小。

[0052] 需要指出的是,给定系统的k和Q值,系统负载需要与系统能量源的阻抗匹配,才可以达到当前系统的最高效率。

[0053] 从以上分析可知,有四个因素决定了最终无线能量传输的效率:NFC标签接口天线与NFC读写器接口天线的耦合系数、NFC读写器接口谐振环路在13.56Mhz的Q值、NFC标签接口谐振环路在13.56Mhz的Q值、NFC标签接口负载阻抗匹配程度。

[0054] 耦合系数:由公式(1)和(2)可知,NFC标签接口天线与NFC读写器接口天线的耦合系数越高,传输效率越高。耦合系数与两个天线间的相对位置,以及两个天线的相对大小有关。天线间距越近、两个天线的垂直轴向对齐程度越高、两个天线大小越接近,耦合系数越高。这些需要在天线设计阶段和最终产品工业设计阶段加以考虑。

[0055] NFC读写器接口谐振环路在13.56Mhz的Q值 Q_1 :由以上分析可知, Q_1 越高,能量传输效率越高。需要注意的是, Q_1 是整个谐振环路的Q值,由NFC读写器接口天线的Q值、天线驱动的等效串行内阻以及匹配电路的损耗共同决定。为了达到较高的 Q_1 ,需要较高的NFC读写器接口天线Q值,和很低的天线驱动等效串行内阻以及匹配电路损耗。

[0056] NFC标签接口谐振环路在13.56Mhz的Q值 Q_2 :由以上分析可知, Q_2 越高,能量传输效率越高。需要注意的是, Q_2 是NFC标签接口不接负载时整个谐振环路的Q值,由NFC标签接口天线的Q值以及匹配电路的损耗共同决定。为了达到较高的 Q_2 ,需要较高的NFC标签接口天线Q值,和很低的匹配电路损耗。

[0057] NFC标签接口负载阻抗匹配程度:k和Q决定了系统所能达到的最高效率 η_{max} ,而负载阻抗匹配则决定了系统的实际效率(永远小于最高效率 η_{max})。精确的负载阻抗与系统源阻抗的匹配可以让系统工作在最高效率附近。

[0058] 接下来再分析小尺寸天线问题。对于绝大多数NFC标签接口来说,影响通信性能的瓶颈是标签至读写器链路的性能。为了便于分析,现介绍标签至读写器链路的通信原理。图5为一个典型NFC通信系统的示意图,其左半部份为NFC读写器接口,右半部分为NFC标签接口。为了简化分析,两个接口的匹配电路均为单一的串行电容,但分析结论适用于所有形式的匹配电路。天线驱动511为低输出阻抗的RF放大器,电阻501为其等效输出阻抗;电容502为匹配电容,天线504为NFC读写器接口的天线,两者在13.56Mhz谐振;电阻503为电容502与天线504在13.56Mhz下的合并等效串行电阻;天线505为NFC标签接口的天线,电容507为其匹配电容,电阻506为两者的合并等效串行电阻;开关508与电阻509构成负载调制电路。当NFC标签接口位于NFC读写器接口所发射的交变磁场内时,NFC标签接口可视为NFC读写器接口的负载。具体而言,NFC标签接口可等效为串联于NFC读写器接口天线谐振环路上的一个电阻。该电阻叫做NFC标签接口的反射电阻。电阻510为NFC标签接口的反射电阻。该电阻的阻值受两天线间耦合系数、天线Q值、NFC标签接口的天线负载共同影响。在NFC通信中,当两个特定NFC读写器接口与NFC标签接口距离一定时(即耦合系数固定),该反射电阻阻值的变化只能由NFC标签接口的天线负载变化引起。负载的变化将引起NFC读写器接口天线的电流的变化。NFC标签接口发送的信息可通过对其天线电流变化的测量来解码。

[0059] 显然,电阻510在负载调制时变化越大,流过NFC读写器接口天线电流的变化也越大,产生的信号也就越强。反射电阻501的值, Z_r ,在电路谐振时可表示为:

$$[0060] \quad Z_r = \frac{\omega^2 M^2}{R_2 + R_L}$$

[0061] 其中 ω 为信号频率, M 为两天线间互感, R_2 和 R_L 分别是谐振环路的等效串行电阻和负载调制的电阻。由于 ω , M , 和 R_2 在 NFC 通信时均可视为恒定值, Z_r 的变化只由 R_L 控制。显然, 当 R_L 在 0 和正无穷变化时, Z_r 变化最大。 Z_r 的最大和最小值可表示为:

$$[0062] \quad \text{Max}(Z_r) = \frac{\omega^2 M^2}{R_2}, \text{ 当 } R_L = 0$$

$$[0063] \quad \text{Min}(Z_r) = \frac{\omega^2 M^2}{R_2 + \infty} = 0, \text{ 当 } R_L \rightarrow +\infty$$

[0064] 标签至读写器链路的信号强度 H 可表示为表示为 NFC 读写器谐振环路上阻抗变化范围与最大阻抗的比值:

$$[0065] \quad H = \frac{\text{Max}(Z_r) - \text{Min}(Z_r)}{R_1 + \text{Max}(Z_r)} = \frac{\frac{\omega^2 M^2}{R_2 R_1}}{1 + \frac{\omega^2 M^2}{R_2 R_1}} = \frac{k^2 Q_1 Q_2}{4\pi^2 + k^2 Q_1 Q_2} \quad (4)$$

[0066] 其中 R_1 为 NFC 读写器接口谐振环路的等效串行电阻, 即电阻 503 与电阻 501 之和; Q_1 和 Q_2 分别是 NFC 读写器接口谐振环路和 NFC 标签谐振环路的 Q 值; 当 H 为 1 时信号强度最大, 当 H 为 0 时信号强度最小。

[0067] 天线尺寸对 NFC 系统的最主要影响是对 NFC 标签接口天线与 NFC 读写器接口天线之间的耦合系数 k 。天线尺寸越小, 在相同距离上天线之间的耦合系数也越小。根据公式 (4), 小型天线与 NFC 读写器接口天线之间的低耦合系数将直接导致负载调制产生的信号强度 H 太小, NFC 读写器接口无法解码该信息。

[0068] 根据以上分析, 当使用小天线导致很低的耦合系数 k 时, 有以下几个方法提高信号强度。

[0069] NFC 读写器接口谐振环路在 13.56Mhz 的 Q 值 Q_1 : 由以上分析可知, Q_1 越高, 标签至读写器链路的信号强度 H 越高。需要注意的是, Q_1 是整个谐振环路的 Q 值, 由 NFC 读写器接口天线的 Q 值、天线驱动的等效串行内阻以及匹配电路的损耗共同决定。为了达到较高的 Q_1 , 需要较高的 NFC 读写器接口天线 Q 值, 和很低的天线驱动等效串行内阻以及匹配电路损耗。

[0070] NFC 标签接口谐振环路在 13.56Mhz 的 Q 值 Q_2 : 由以上分析可知, Q_2 越高, 标签至读写器链路的信号强度 H 越高。需要注意的是, Q_2 是 NFC 标签接口不接负载时整个谐振环路的 Q 值, 由 NFC 标签接口天线的 Q 值以及匹配电路的损耗共同决定。为了达到较高的 Q_2 , 需要较高的 NFC 标签接口天线 Q 值, 和很低的匹配电路损耗。

[0071] 负载调制的电阻 R_L 的变化范围: 由以上分析可知, 电阻 R_L 的变化越大, 标签至读写器链路的信号强度 H 越高。在大部分情况下, 电阻 R_L 的最大值与最小值由负载调制的 RF 开关决定。这要求该 RF 开关有着很小的寄生电容, 很高的隔离度, 以及很低的插入损耗。

[0072] 可以看出, 标签接口如何有效地使用小尺寸天线, 和 NFC 系统如何高效地传输能量这两个问题的共同点都在于 NFC 读写器接口和 NFC 标签接口谐振电路的 Q 值。然而一个值得注意的问题是, 使用高 Q 值谐振环路将直接降低读写器至标签链路带宽。低带宽将造成 NFC 信号发射强度和接收幅度过低, 严重影响通信性能。为解决这个问题, NFC 读写器接口和 NFC 标签接口应分别采用两套谐振环路分别对应不同 Q 值需求。

[0073] 在 NFC 读写器接口和 NFC 标签接口距离较远时, 为避免 NFC 标签接口的负载对通信

性能的影响(降低环路Q值),能量传输需要被禁用。这可以通过在NFC标签接口上检测磁场强度来实现。只有当信号强度达到一定值时,负载才会被接入电路。

[0074] NFC读写器接口设计:

[0075] 现介绍NFC读写器接口设计。图6为该NFC读写器接口一种实现方式的结构图。

[0076] 天线601是高Q值线圈($Q > 100$),负责产生交变磁场以及发送和接收NFC信号;可调匹配电路602将天线601的阻抗调节至合适值,以改善能量传输效率和调节传输功率;其具有两种模式,高Q模式和低Q模式,可分别将天线谐振环路调谐至高Q值($Q > 50$)和低Q值($Q < 25$)以优化性能;调制器604把待发送的NFC数据根据NFC协议调制为NFC信号,通过天线驱动603传送到天线601上;其中天线驱动603为射频放大器,具有很低的输出阻抗,以提高能量传输效率;解调器609通过天线601的电流强度感知被动NFC接口由负载调制产生的信号,并将该信号解调;MCU内核607控制整个NFC读写器接口的工作,其任务包括根据NFC协议组织NFC数据、数据校验、与片外设备的通信、片上组件的管理与控制等等;数据接口605为该NFC读写器与片外设备通信的接口,一般为通用串行数据接口,如SPI,I2C等;FIFO606为数据接口605与MCU内核607之间的桥梁,作为双向通信的数据暂存器;时钟系统608产生该NFC读写器接口所需的所有时钟,包括13.56Mhz载波频率;片上电源管理产生片上组件所需的所有电源。

[0077] 该NFC读写器接口设计相对于传统NFC读写器接口最主要的区别是天线谐振环路。该天线谐振环路可在两种模式下工作,即高Q值模式和低Q值模式。在即高Q值模式下,天线谐振环路具有高Q值低带宽,13.56Mhz的无线信号可以以极低的损耗被天线辐射出去。在低Q值模式下,天线谐振环路具有低Q值高带宽,适合NFC信号的发射。这两个模式可以被实时切换,切换由NFC读写器接口的MCU控制。由于该NFC读写器接口设计没有变动通信协议,故其完全兼容现有NFC标准,可以与任何标准NFC标签通信。

[0078] 下面介绍该天线谐振环路的一种实现方案。图7为该方案的简化电路图。天线驱动701为低输出阻抗射频功率放大器,输出阻抗应小于5欧姆;天线匹配电路702变换天线705的阻抗,以控制输出功率;由于天线匹配电路702内的元件会带来能量损耗,该电路应采取尽量简单的形式;图7上所示天线匹配电路702为PI型匹配电路,但实际上任何形式的变换电路均可工作,包含L型以及单一电容元件的匹配电路;Q调节电阻703配合射频开关704控制该天线谐振环路的工作模式,开关断开时电路具有高Q值,开关闭合时具有低Q值;Q调节电阻的具体值需在具体天线的阻抗匹配电路的参数下计算。

[0079] 天线705需满足三个条件以达到理想的能量传输效率和通信性能。一,天线705连接匹配702后在13.56Mhz谐振。考虑到天线705内部谐振电容受实际值的限制、寄生电容的影响以及与接收天线的互感,天线705的电感值不能太大,否则无法在13.56Mhz谐振。然而,过低的电感值会导致低的Q值,故电感值一般在1uH到10uH之间比较合适。二,天线705有尽可能高的Q值。提高Q值的方法包括使用具有较大截面积的天线,降低天线的寄生电容,使用阻抗较低的天线材料等等。三,天线705需要有合适的面积以提供与发射天线足够的耦合。针对典型NFC应用,天线705的面积须在 100mm^2 至 5000mm^2 之间。

[0080] 该NFC读写器接口需要实时切换工作模式以配合当前工作状态。该接口绝大多数时间工作于高Q值模式以实现高效率能量传输。图8为该NFC读写器接口的模式控制状态机。该接口在上电复位后的初始模式是高Q值模式。复位 t_1 秒后,射频接口开启,未调制的

13.56Mhz载波被天线功率放大后通过匹配电路经天线发送出去。该信号在NFC读写器接口附近产生了一个13.56Mhz的交变磁场。NFC标签接口可接收磁场的能量为自身充电。在开始发送载波后,NFC读写器接口需等待 t_2 秒,待NFC标签接收到足够能量维持自身操作后,才可以发送数据包。 t_3 秒后,NFC读写器接口切换至低Q值模式,并通过天线发送调制好的信号。在信号发送完毕后,NFC读写器切换回高Q值模式并等待至少 t_3 秒,以便接收NFC标签信号。NFC标签必须 t_3 秒内回应。若有标签回应,则NFC读写器接口接收信号,并可在接收完成 t_6 秒后发送下个数据包。若NFC读写器在 t_3 秒内没有收到NFC标签信号,NFC读写器需切换到另外一种调制方式在 t_5 后再次发送。这样做的目的是为了支持多种不同协议的标签。若NFC读写器试过所有的调制方式仍没有标签回应,则认为附近没有标签。此时NFC读写器停止载波发送并关闭射频接口以节省能量。NFC读写器在 t_4 秒后重新开启射频接口并发送载波,重复以上所述步骤。以上 t_1 至 t_6 的设置应参照NFC协议标准设定。

[0081] NFC标签接口设计:

[0082] 现介绍NFC标签接口的设计。图9为该NFC标签接口的第一种实现方案。

[0083] 天线901为高Q值线圈天线,负责接收交变磁场的能量和NFC读写器接口发来的调制的信号,其最小尺寸为10mmX10mm;可调匹配电路902将天线901的阻抗调节至合适值;其具有两种模式,高Q模式和低Q模式,可分别将天线谐振环路调谐至高Q值($Q>50$)和低Q值($Q<25$)以优化性能;解调器903将接收到的信号解调,恢复为原始信息;负载调制电路905根据待发送的信息,改变天线901的负载来实现对交变磁场的调制;数据接口904通过数据总线与外围器件通信,配置该被动NFC标签接口,以及交换接收到的和待发送的NFC原始信息;整流稳压电路906将接收到的交变磁场的能量整流和稳压后,通过能量采集接口907发送给外围器件;整流稳压电路906具有一个开关可以控制负载的接入与断开。

[0084] 该NFC标签接口设计相对于传统NFC标签接口最主要的区别是天线谐振环路。该天线谐振环路可在两种模式下工作,即高Q模式和低Q模式。在高Q模式下,天线谐振环路具有高Q值低带宽,13.56Mhz的无线信号可以以极低的损耗被天线接收。在低Q模式下,天线谐振环路具有低Q值高带宽,适合NFC信号的接收。这两个模式可以根据NFC标签接口工作状态被实时切换。由于该NFC标签接口设计没有变动通信协议,故其完全兼容现有NFC标准,可以与任何标准NFC读写器通信。

[0085] 下面介绍该天线谐振环路及附属电路的一种实现方案。图10为该方案的简化电路图。天线1005与匹配电路1004组成天线谐振环路;为降低匹配电路的损耗,匹配电路1004可由T型、PI型、L型电路,甚至单一电容构成,图10上所示匹配1004为单一并联的电容;电阻1006与开关1007构成Q值调节电路,其中电阻1006为固定阻值电容,开关1007为RF开关;电阻1006的阻值应根据天线1005与匹配电路1004的参数计算,使开关1007闭合后,该谐振环路的Q值控制在25以内;开关1007的开启和闭合分别对应该天线谐振环路的高Q模式和低Q模式;电阻1003为调制负载,和开关1002一起构成负载调制电路;整流电路1001将谐振环路的能量整流后通过开关908送至稳压电路;整流电路1001即可使用二极管桥式整流,也可使用同步整流电路;开关1008控制负载与谐振环路的连接;整流电路1001的输入同时连接到解码器输入电路上。

[0086] 天线1005需满足三个条件以达到理想的能量传输效率和通信性能。一,天线1005连接匹配1004后在13.56Mhz谐振。考虑到天线905内部谐振电容受实际值的限制、寄生电容

的影响以及与接收天线的互感,天线1005的电感值不能太大,否则无法在13.56Mhz谐振。然而,过低的电感值会导致低的接收功率,故电感值一般在1uH到10uH之间比较合适。二,天线1005有尽可能高的Q值。提高Q值的方法包括使用具有较大截面积的天线,降低天线的寄生电容,使用阻抗较低的天线材料等等。三,天线1005需要有合适的面积以提供与发射天线足够的耦合。针对典型NFC读写器接口的天线尺寸,天线1005的面积须在100mm²至5000mm²之间。

[0087] 负载调制电路需最大化负载变化范围来提高使用小天线时的通信性能。开关1002需具有隔离度高、插入损耗小的特点。电阻1003用来限制通过开关1002的电流,以防止其超过最大功率而损坏。电阻1003的选择应根据开关1002的最大允许功耗与内阻、NFC标签接口的最大接收功率计算选择。

[0088] 天线谐振环路的工作模式需根据工作状态实时选择。能量采集和负载调制需要工作在天线谐振环路处于高Q值时,而NFC信号接收需要工作在谐振环路处于低Q值时。图11为该NFC标签接口的模式控制状态机。该接口在上电复位后的初始模式是低Q模式。复位后,该接口反复探测NFC载波。若探测到NFC载波,则检测载波强度是否大于 A_{t1} 。若大于则切换至高Q模式并将负载连接入谐振环路采集能量,否则则继续在低Q模式并断开负载。这是为了防止磁场强度过低时强行接入负载降低通信性能。然后该接口检测是否有NFC读写器接口发送的调制信号。若未检测到则保持在当前模式下,并返回检测载波步骤。若检测到,则立即切换到低Q值模式,并接收该NFC信号。接收完成后,立即切换至高Q模式下,并在 t_1 秒后通过负载调制发送响应信号。负载调制完成后,在高Q模式下检测载波是否存在,若不存在则切换到低Q模式下继续检测,否则继续在高Q模式下工作并重复以上步骤。

[0089] A_{t1} 与 A_{t2} 需根据该NFC标签接口与NFC读写器接口在对其且较近距离时的实际值设定,但 A_{t1} 需大于 A_{t2} ,以防止NFC标签接口在两个模式间震荡。 t_1 应根据NFC接口协议的标准值设定。

[0090] 由于这种方案当能量采集进行时检测NFC读写器接口信号是在接收性能较差的高Q模式下,而实际的信号接收是在低Q模式下,若信号调制速率较高时模式转换完成后可能已错过几个调制符号,故此方案在能量采集时只能使用NFC低速率协议($\leq 106\text{Kbps}$)。

[0091] 图12为该NFC标签接口的第二种实现方案。

[0092] 该方案包含两个天线,第一天线1201和第二天线1205,及两个天线谐振环路,第一谐振环路和第二谐振环路。第一天线1201与第一匹配电路1202构成第一天线谐振环路,负责读写器至标签链路的信号接收;第二天线1205与第二匹配电路1206构成第二天线谐振环路,负责能量接收和负载调制。其中第一谐振环路在13.56Mhz具有低Q值(<25),第二谐振环路在13.56Mhz具有高Q值($Q>50$)。接收器1203将第一谐振环路接收的信号解调,并发送到数据接口1204;负载调制电路1208按照数据接口从外部总线上取得的待发送数据对第二天线1205的负载进行调制;数据接口1204作为接收器1203与负载调制电路1208与外围器件交换数据的通道,通过外部总线与外围器件连接获取和传送数据,以及配置该被动NFC标签接口;整流稳压电路1207将接收到的交变磁场的能量整流和稳压后,通过能量采集接口1209发送给外围器件;整流稳压电路1207具有一个开关可以控制负载的接入与断开。

[0093] 该NFC标签接口设计相对于传统NFC标签接口以及第一种实现方案的最主要区别是包含第一谐振环路和第二谐振环路两个分别具有低Q值和高Q值的天线谐振环路。第一谐

振环路的低Q值可以提供很宽的接收带宽,而第二谐振环路的高Q值可以提供很高的能量传输效率。这两个谐振环路可以同时工作,故可省去第一种实现方案中复杂的切换电路与控制逻辑。由于无需切换,第二种实现方案可以支持现有NFC的全部传输速率。由于该NFC标签接口设计没有变动通信协议,故其完全兼容现有NFC标准,可以与任何标准NFC读写器通信。

[0094] 下面介绍该天线谐振环路及附属电路的一种实现方案。图13为该方案的简化电路图。天线1310与电容1311以及电阻1309组成第一谐振环路;电阻1309的作用是当天线1310Q值太高时用来降低第一谐振环路的Q值;第一谐振环路的Q值应控制在25以下;第一谐振环路的输出接NFC接收器;天线1306与匹配电路1304组成第二谐振环路;为降低匹配电路的损耗,匹配电路1304可由T型、PI型、L型电路,甚至单一电容构成,图13上所示匹配电路1304为单一并联的电容;第二谐振环路的Q值应控制在50以上;电阻1303为调制负载,和开关1302一起构成负载调制电路;整流电路1301将谐振环路的能量整流后通过开关1308送至稳压电路;整流电路1301即可使用二极管桥式整流,也可使用同步整流电路;开关1308控制负载与谐振环路的连接;整流电路1301的输入同时连接到解码器输入电路上。

[0095] 在该NFC标签接口设计方案中,由于只有第二谐振环路接收的能量才可以被收集和利用(第一谐振环路接收的能量最终将转化为热能而损耗),为了提高能量接收功率,第一谐振环路需尽可能的减少接收的能量(只需满足接收器灵敏度即可)。具体来讲,需要尽可能降低第一谐振环路在接受13.56Mhz信号时的电压。第一谐振环路必须至少具有以下性质之一以降低接收的能量。第一,在13.56Mhz具有低Q值(<25)。这可通过调节电阻1309实现,或调节电容1311的值使第一谐振电路的谐振频率脱离13.56Mhz。第二,低天线电感值($<4\mu\text{H}$)。低天线电感值可降低与NFC读写器接口天线的互感值,从而降低第一谐振环路的震荡电压值。这可通过使用圈数很少的天线,减小天线面积等实现。第三,与NFC读写器接口天线低耦合。低耦合也可降低与NFC读写器接口天线的互感值,从而降低第一谐振环路的震荡电压值。这可通过减小天线面积,调节天线位置,增大与发射天线的距离实现。

[0096] 负载调制电路需最大化负载变化范围来提高使用小天线时的通信性能。开关1302需具有隔离度高、插入损耗小的特点。电阻1303用来限制通过开关1302的电流,以防止其超过最大功率而损坏。电阻1303的选择应根据开关1302的最大允许功耗与内阻、NFC标签接口的最大接收功率计算选择。

[0097] 对于第二谐振电路,为了使其可以尽可能多的接收能量,天线1306与匹配1304需满足四个条件。一,天线1306连接匹配1304后在13.56Mhz谐振。考虑到匹配1304内部谐振电容和电感受实际值的限制、寄生电容的影响以及与NFC读写器接口天线的互感,天线1306的电感值不能太大,否则无法在13.56Mhz谐振。然而,过低的电感值会导致低的接收电压,降低总体效率。故电感值一般在 $1\mu\text{H}$ 到 $10\mu\text{H}$ 之间比较合适。二,第二谐振电路有尽可能高的Q值。这既要求天线1306有尽可能高的Q值,又要求匹配1304有尽可能低的损耗。提高天线Q值的方法包括使用具有较大截面积的天线,降低天线的寄生电容,使用阻抗较低的天线材料等等。降低匹配1304损耗的方法主要是使用尽可能简单的匹配电路,因为匹配越复杂,产生损耗的途径越多。三,天线1306连接匹配1304后的输出阻抗需与负载阻抗匹配,保证最大功率传输。这可以通过调节匹配1304的参数实现。四,天线1306需要有合适的面积以提供与NFC读写器接口天线足够的耦合。针对典型NFC读写器接口的天线尺寸,天线1306的面积须

在 100mm^2 至 5000mm^2 之间。

[0098] 图14为该NFC标签接口的控制状态机。该接口在上电复位后处于低功耗状态等待NFC载波。若探测到NFC载波,则检测载波强度是否大于 A_t 。若大于则将负载接入谐振环路采集能量,否则则断开负载。这是为了防止磁场强度过低时强行接入负载降低通信性能。然后该接口检测是否有NFC读写器接口发送的调制信号。若未检测到则返回检测载波步骤。若检测到,则接收该NFC信号。接收完成后,在 t_1 秒后通过负载调制发送响应信号。负载调制完成后,返回检测载波步骤并重复以上步骤。 A_t 需根据该NFC标签接口与NFC读写器接口 在对其且较近距离时的实际值设定,保证负载接入后不会影响到通信稳定性。 t_1 应根据NFC接口协议的标准值设定。

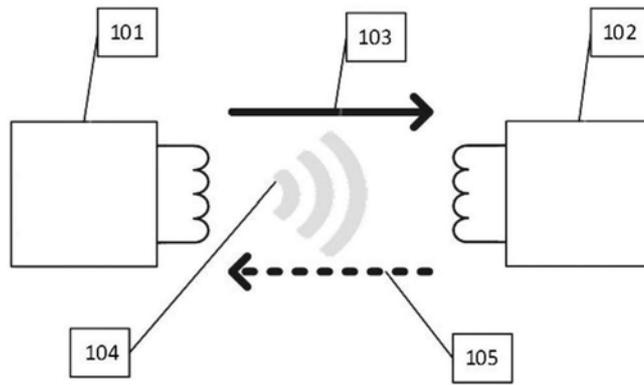


图1

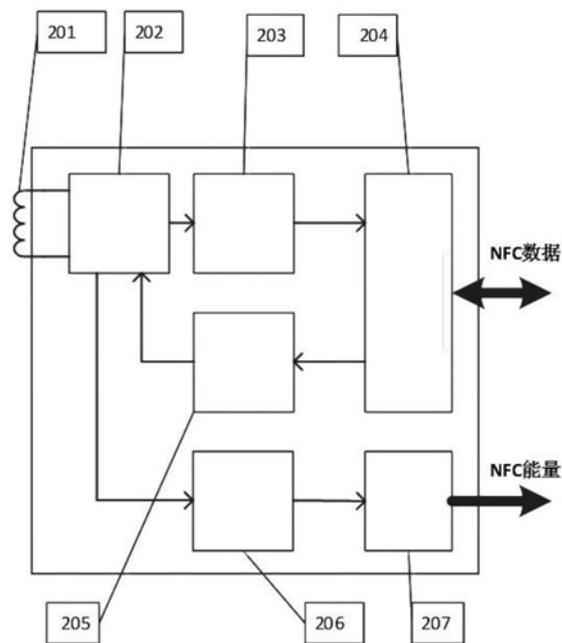


图2

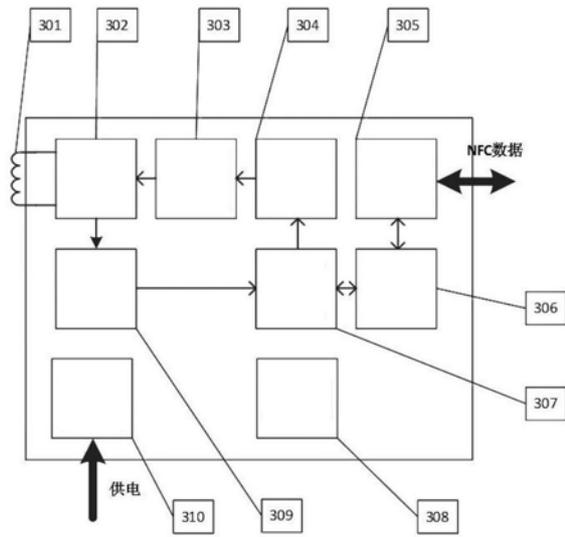


图3

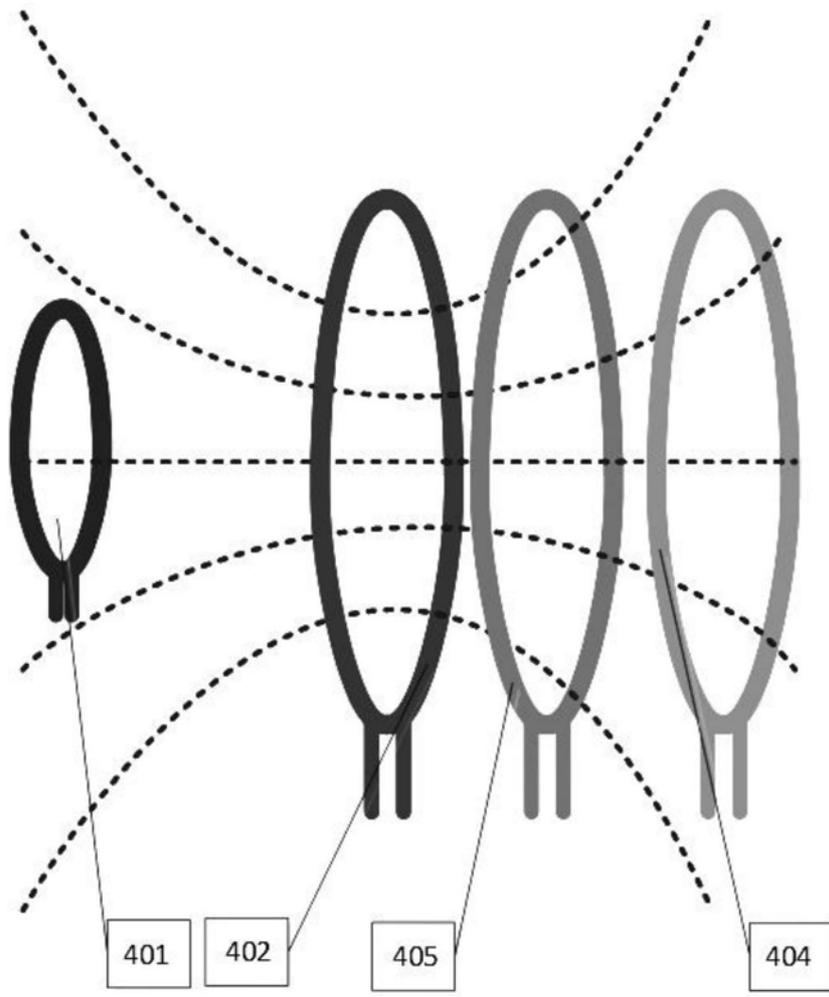


图4

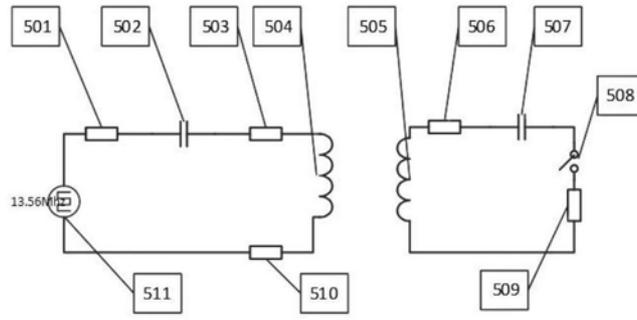


图5

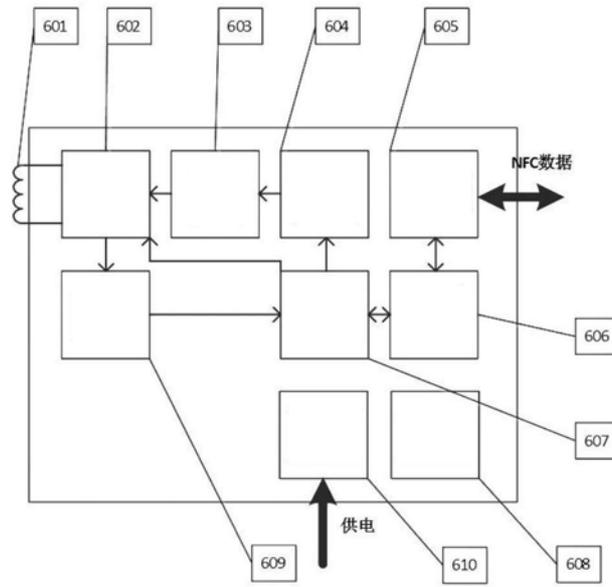


图6

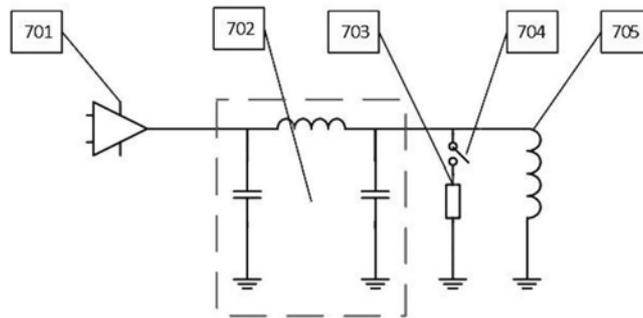


图7

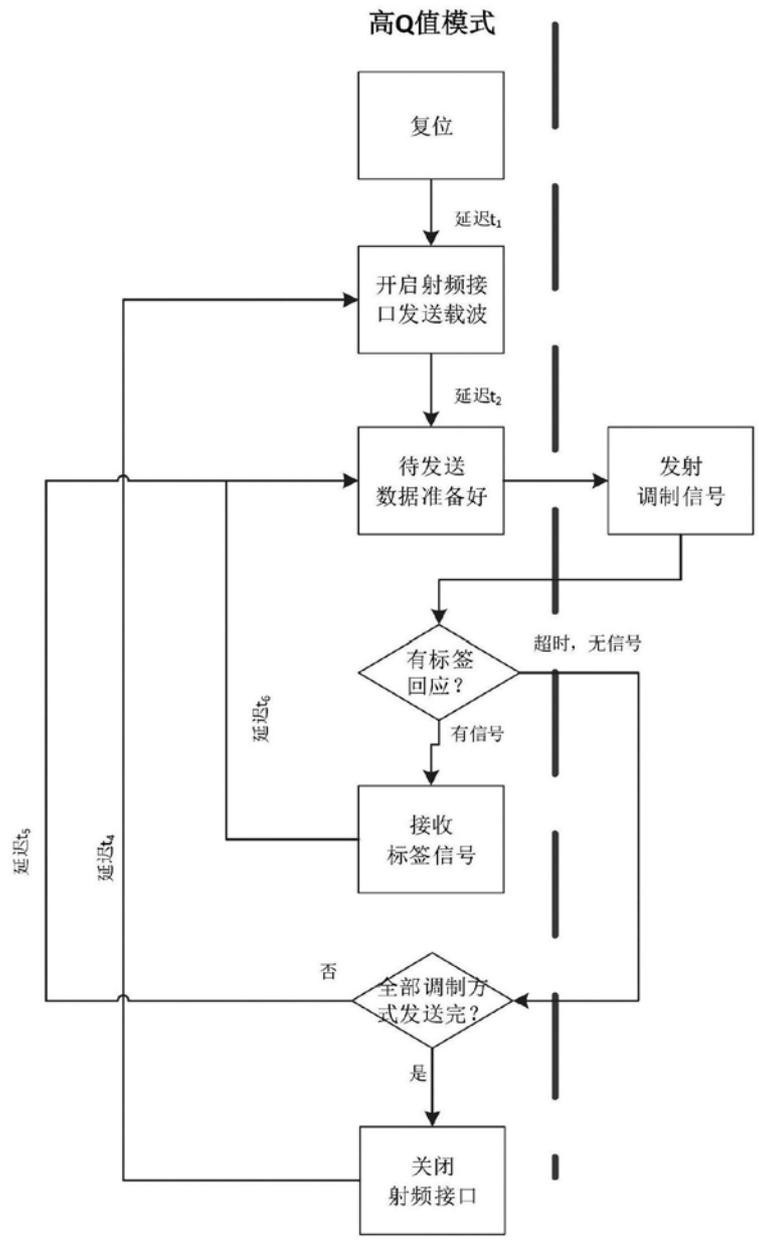


图8

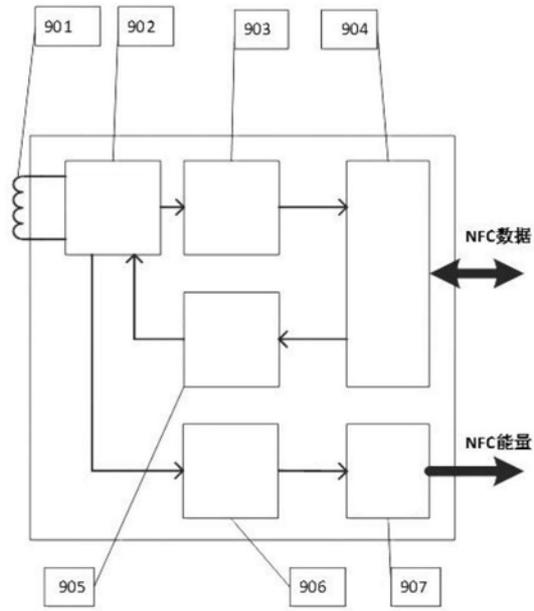


图9

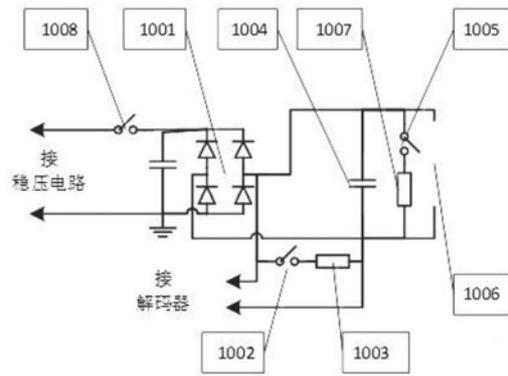


图10

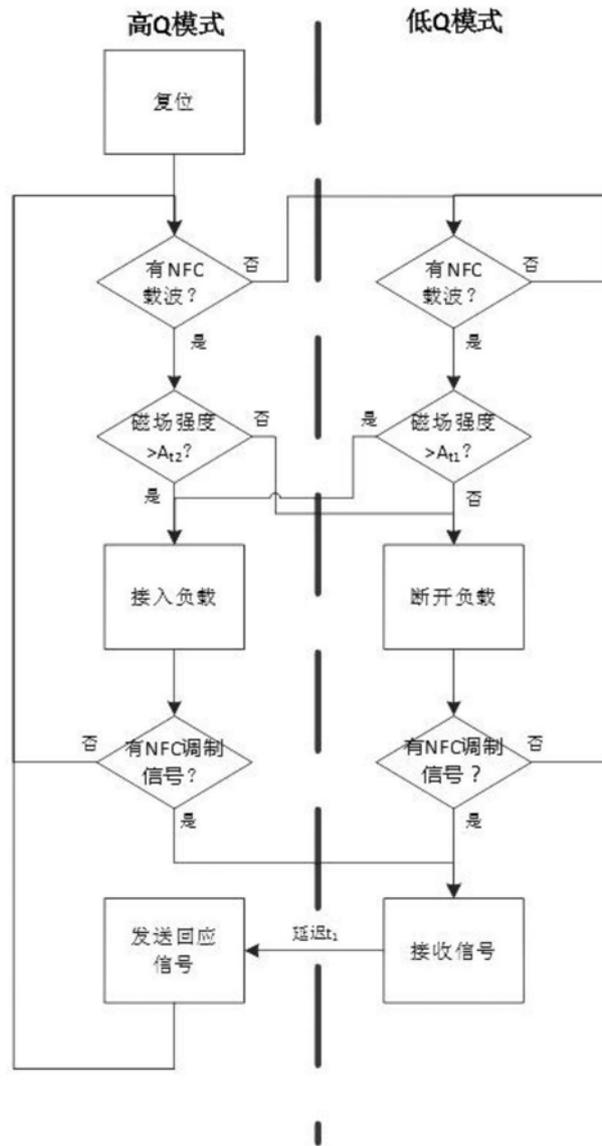


图11

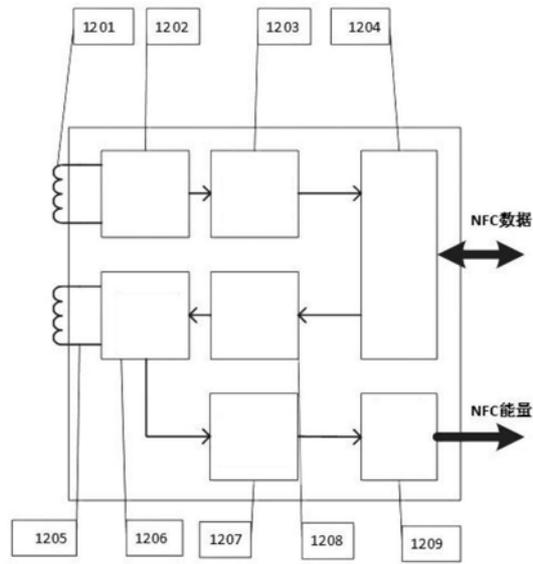


图12

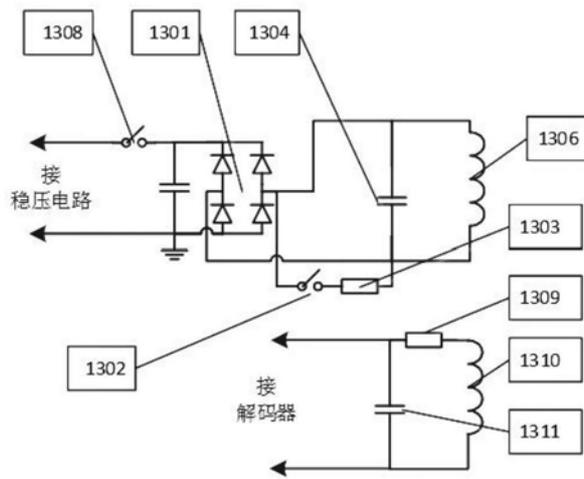


图13

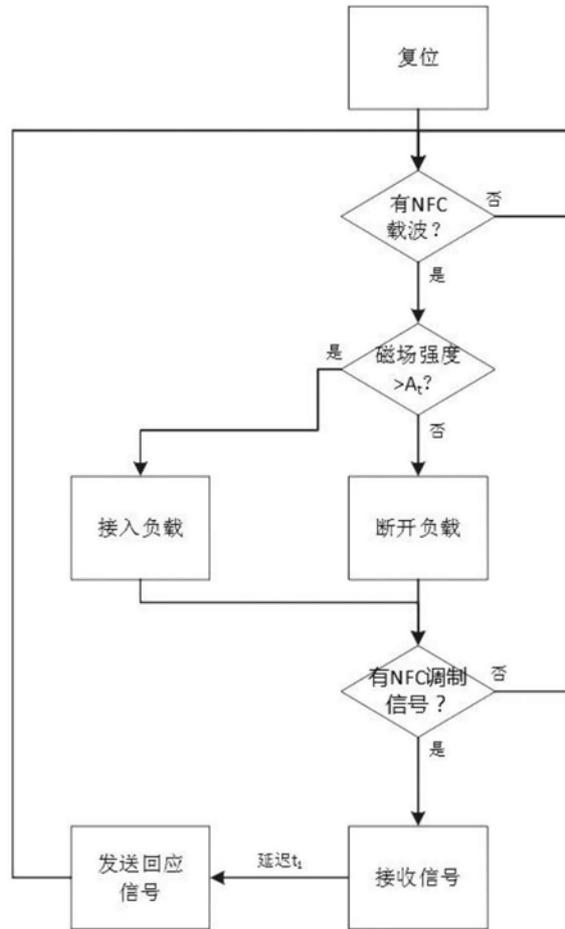


图14