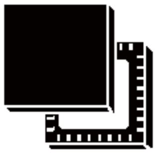
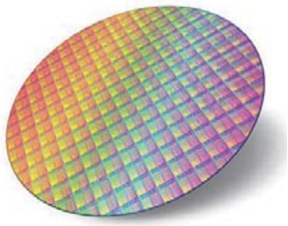
ST25R3911B

1.4 W功耗可支持VHBR和AAT的高性能HF读卡器 / NFC发起设备

数据手册 - 生产数据



QFN32



晶圆

特性

- ISO 18092（NFCIP-1）Active P2P
- ISO14443A、ISO14443B和FeliCa™
- 支持 VHBR（3.4 Mbit/s PICC到PCD成帧，6.8 Mbit/s AFE和PCD到PICC成帧）
- 电容式唤醒
- 自动天线调谐系统，可支持天线LC谐振腔调谐
- 自动调制指数调整
- 可自动选择的AM和PM（I/Q）解调器通道
- DPO（Dynamic Power Output，动态功率输出）
- 差分输出可达1.4 W
- 用户可选择和自动增益控制
- Transparent和Stream模式，实现了MIFARE™ Classic兼容或其他自定义协议兼容
- 单端模式下，可驱动两个天线
- 振荡器输入，使用13.56 MHz或27.12 MHz晶振，可快速启动
- 6 Mbit/s SPI，具有96字节的FIFO
- 宽泛的供电电压范围：2.4 V 至5.5 V
- 宽泛的温度范围：-40 °C至125 °C
- QFN32，5 mm x 5 mm封装

说明

ST25R3911B 是高度集成的NFC发起设备 / HF读卡器IC，包括模拟前端（analog front end，AFE）和一个高度集成的数据帧系统，可用于ISO 18092（NFCIP-1）发起设备，ISO 18092（NFCIP-1）主动目标设备，ISO 14443A和B读卡器（包括高比特率）以及FeliCa™读卡器。其他标准和自定义协议（如MIFARE™ Classic）可使用AFE，在外部微控制器（Stream和Transparent模式）中实现。

ST25R3911B 完全适用于需要最佳RF性能，灵活性以及低功耗能力的NFC系统。

由于采用了自动天线调谐（AAT）技术，该器件对于直接驱动天线的应用是最优的。ST25R3911B在HF读卡器IC领域是独一无二的，因为它具有两个差分低阻抗（1 Ohm）天线驱动器。

ST25R3911B包含多种功能，使其非常适合于低功耗应用。它包含一个低功耗电容传感器，可用来检测卡片是否存在，而无需开启读卡器磁场。也可通过对天线LC谐振腔上的信号进行幅度或相位测量，并将其与存储参考值进行比较，来检测卡片是否存在。它还包含了一个低功耗RC振荡器和唤醒定时器，可用来在定义时间周期后唤醒系统，以及使用一种或多种低功耗检测技术（电容，相位或幅度）来检查标签是否存在。

ST25R3911B 经过设计，可在宽泛的（2.4 V至5.5 V）电源供电范围内工作；外设接口IO引脚支持的电源供电范围为1.65 V至5.5 V。

目录

表格索引

图片索引

1 功能概述

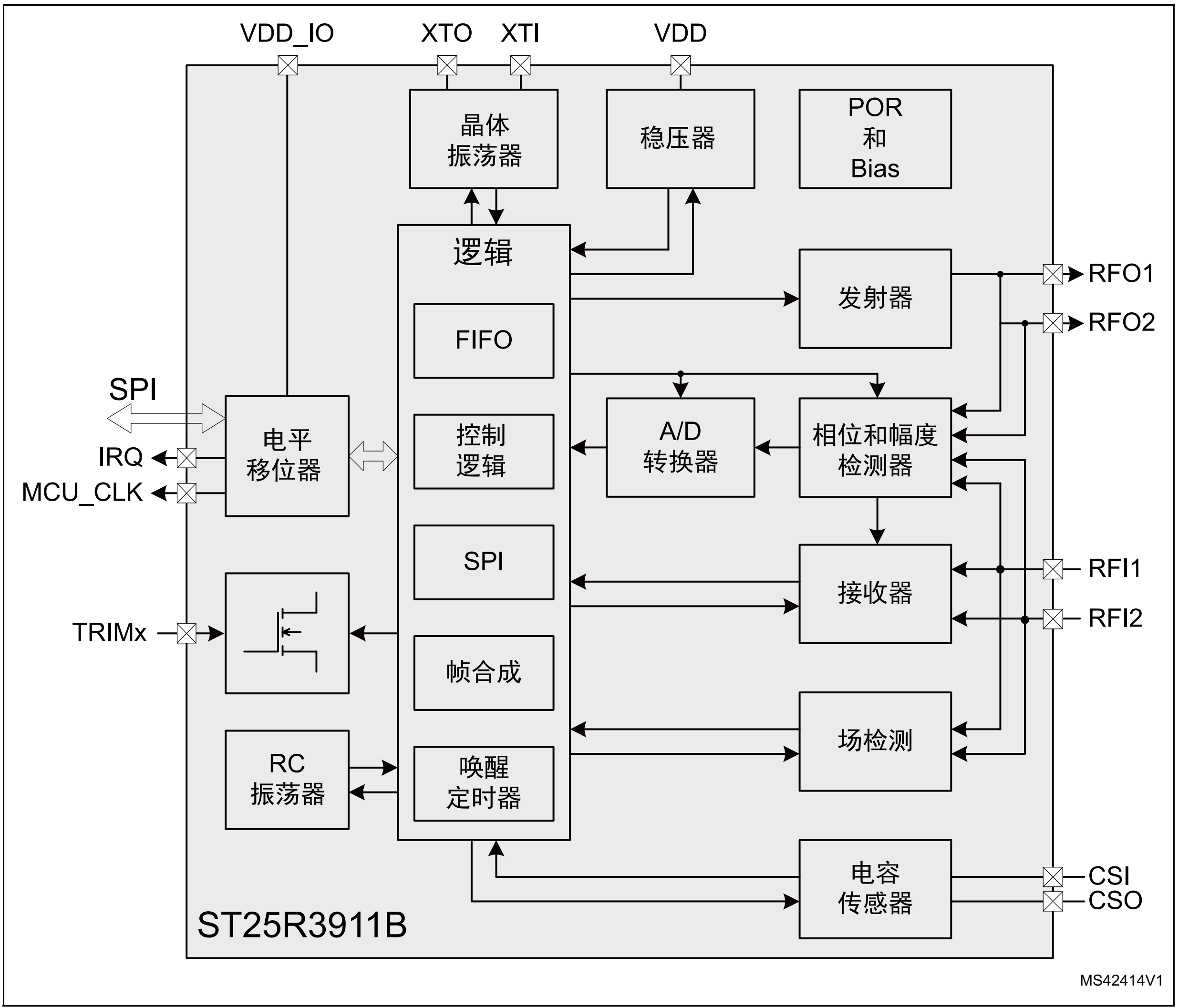
ST25R3911B 适用于多种应用， 其中有

- EMV支付
- 电子政务
- 访问控制
- NFC基础设施
- 票务

1.1 框图

框图如*图 1* 所示。

图1. ST25R3911B框图



1.1.1 发射器

发射器包含有驱动器，可通过引脚RFO1和RFO2驱动外部天线。可进行单侧和差分驱动。发射器模块还包含了一个子模块，可对发射信号进行调制（OOK或可配置AM调制）。

ST25R3911B发射器用来直接驱动天线（无50 Ω线缆，通常天线在同一块PCB上）。有50 Ω线缆时也可运行，但是这种情况下，一些高级功能不可用。

1.1.2 接收器

接收器检测叠加在13.56 MHz载波信号上的转发器调制信号。接收器具有两个接收链路（一个用于AM调制，另一个用于PM解调），由一个峰值检测器、后跟两个增益和滤波级、最后面一个数字转换级组成。可对滤波器特性进行调整以优化每种模式和比特率的性能（可支持从212 kHz至6.8 MHz的子载波频率）。RFI1和RFI2引脚是接收器链路的输入。接收器链路具有多种功能，可在有挑战性的相位和噪声条件下实现可靠运行。

1.1.3 相位和幅度检测器

相位检测器观测发射器输出信号（RFO1和RFO2）和接收器输入信号（RFI1和RFI2）之间的相位差。幅度检测器通过自混频的方式观测接收器输入信号（RFI1和RFI2）的幅度。接收器输入信号（RFI1和RFI2）的幅度与天线LC谐振腔信号的幅度直接成正比。

相位检测器和幅度检测器可作以下用途：

- 通过观测RFI1和RFI2相位变化，进行PM解调
- RFOx引脚和RFIx引脚之间的平均相位差可用来检查和优化天线调谐
- RFI1和RFI2引脚上的信号幅度可用来检查和优化天线调谐

1.1.4 A/D转换器

ST25R3911B中含有一个内置模数（Analog to Digital，A/D）转换器。其输入可以是来自不同源的多路复用，并可用于多种应用（RF幅度和相位测量，调制深度校准……）。A/D转换结果存储在*A/D转换器输出寄存器*中，并可通过SPI进行读取。

1.1.5 电容传感器

电容传感器用来对转发器是否存在进行低功耗探测，测量连接到CSI和CSO引脚的两个铜片之间的电容。电容随着所存在的物体（卡，手）而变化。校准时，参考电容（代表环境中的寄生电容）会被存储。正常操作中，电容被周期性地测量并与所存储的参考值进行比较，如果测量电容与存储参考值不同，并且其差值超过了寄存器所定义的阈值，则会发送一个中断到外部控制器。

1.1.6 外场检测器

外场检测器是一个低功耗模块，用于NFC模式，可检测外部RF场是否存在。它支持两种不同的检测阈值，Peer Detection Threshold和Collision Avoidance Threshold。Peer Detection Threshold用于NFCIP-1目标模式，检测发起场是否存在，也可用于主动通信发起模式对目标场的活动进行检测。Collision Avoidance Threshold用于在NFCIP-1 RFCollision Avoidance过程中检测RF场是否存在。

1.1.7 石英晶体振荡器

石英晶体振荡器可采用13.56 MHz和27.12 MHz晶振。启动时，振荡器的跨导增加，可实现快速启动。启动时间随晶体类型、温度及其他参数而变化，因此应观察振荡器幅度，并在振荡器达到稳定运行时发送一个中断。对于VHBR操作，必须使用27.12 MHz的晶振。

振荡器模块还为外部微控制器提供一个时钟信号（MCU_CLK），按照*IO配置寄存器1*中进行设置。

1.1.8 电源稳压器

集成电源稳压器可保证整个读卡器系统具有高电源抑制比。如果必须要提高读卡器系统PSRR，则可发送命令Adjust Regulators来实现。此命令的结果是，在最大负载条件下对V_{DD}电源电平进行测量，并将稳压参考值设置为比此测量电平低250 mV，以确保稳压电源稳定。稳压结果存储在*稳压器和定时器显示寄存器*中。还可以通过写入*稳压器控制寄存器*来定义稳压值。要去除IC不同部分的噪声源，有三个具有分立外部模块电容的稳压器可用（3.3 V供电模式下，它们的稳压值都是相同的）。一个稳压器用于模拟模块，一个用于数字模块，还有一个用于天线驱动器。

此模块还产生一个参考电压，可用于模拟处理（AGD - 模拟地）。该电压也具有关联的外部缓冲电容。

1.1.9 POR和Bias

此模块为所有其他模块提供偏置电流和参考电压。它还集成了一个上电复位（Power on Reset，POR）电路，可实现上电和低供电电平时复位。

1.1.10 RC振荡器和唤醒定时器

ST25R3911B具有对卡片是否存在进行低功耗检测的几种可能方式（电容传感器， 相位测量，幅度测量）。RC振荡器和寄存器可配置唤醒定时器用来进行周期性的卡片探测。

1.1.11 ISO-14443和NFCIP-1帧合成

此模块根据所选ISO模式及比特率设置对接收和发射信号实现成帧。

接收过程中，它接收从接收器解调的子载波信号。它可识别SOF、EOF和数据位，执行奇偶校验和CRC校验，并将所接收数据按字节放入FIFO中。

发送过程中，它是反方向的操作，从FIFO中取出字节，生成奇偶校验和CRC位，添加SOF和EOF，并在将调制信号传输到发射器之前对其进行最后编码。

Transparent模式下，成帧和FIFO被旁路，已数字转化的子载波信号（接收器输出）被直接发送到MISO引脚，施加到MOSI引脚的信号直接用来调制发射器。

1.1.12 FIFO

ST25R3911B具有一个96字节的FIFO。根据所用模式，它其中存放的是已接收数据或待发送数据。

1.1.13 控制逻辑

控制逻辑含有I/O寄存器，可定义设备操作。

1.1.14 SPI

4线串行外设接口（Serial Peripheral Interface，SPI）用来实现外部微控制器和ST25R3911B之间的通信。

1.2 应用信息

运行ST25R3911B所需的最小配置如*图 2*和*图 3*中所示。

图2. 单端天线驱动的最小配置（包括EMC滤波器）

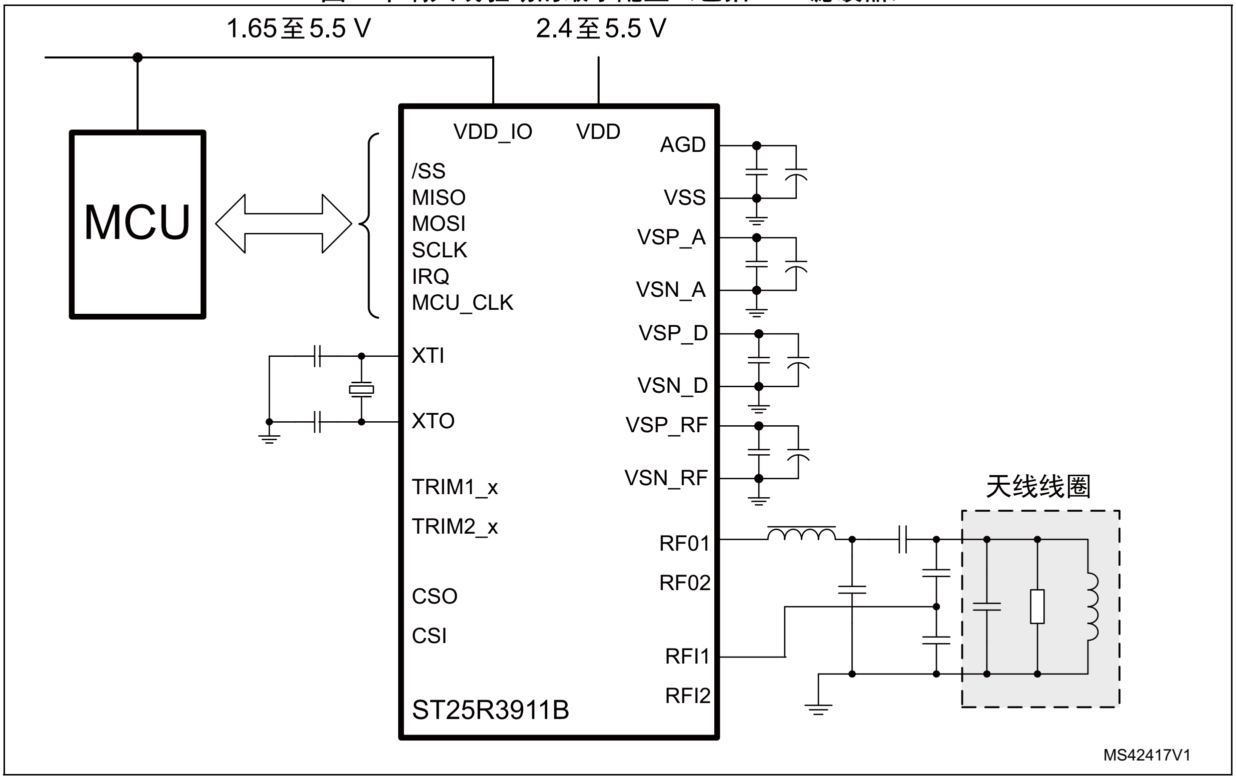
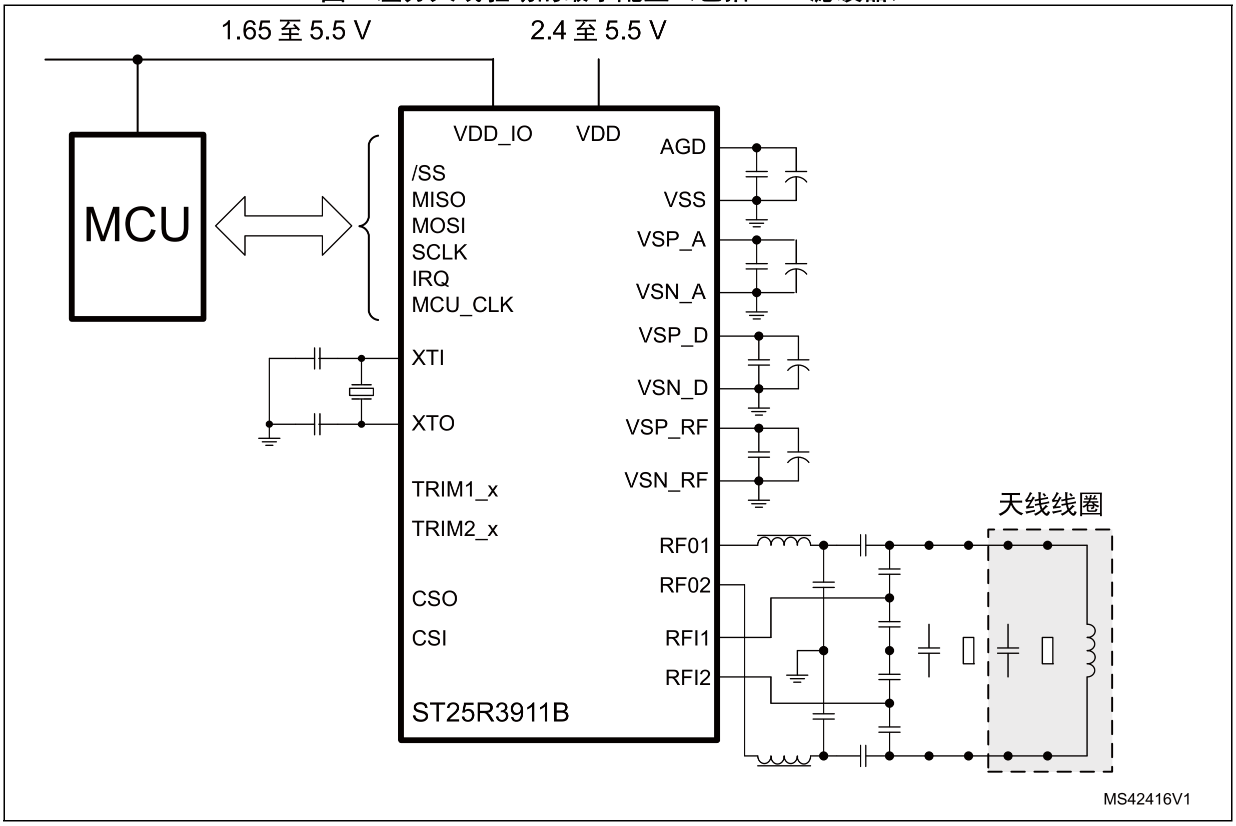


图3. 差分天线驱动的最小配置（包括EMC滤波器）



1.2.1 操作模式

ST25R3911B操作模式由*操作控制寄存器*中的内容来定义。

上电时，*操作控制寄存器*的所有位均置为0，ST25R3911B为掉电模式。此模式下，AFE静态功耗最小，只有POR和部分偏置是活动的，而稳压器是处于透传模式并且不工作。SPI在此模式下仍然可以工作，因此可以实现ISO模式定义和配置寄存器的所有设置。

控制位en（*操作控制寄存器*的位7）控制石英晶体振荡器和稳压器。当该位被置位，器件进入Ready模式。此模式下，石英晶体振荡器和稳压器使能。当振荡器频率稳定时，会发送一个中断来通知微控制器。

接收器和发射器是分别单独使能的，因此可以运行其中一个设备而不必开启另一个（控制位rx_en和tx_en）。这在某些情况下是非常有用的，例如如果读卡器场必须保持而不需要转发器响应时，接收器可关闭以节省电流消耗。另一个例子是NFCIP-1主动通信接收模式下，发起方产生了RF场，而只有接收器在工作。

声明*操作控制寄存器*位wu，同时其他位置为0，会使ST25R3911B进入唤醒模式，可用来对卡片进行低功耗探测。此模式下，低功耗RC振荡器和寄存器可配置唤醒定时器用来实现周期性测量。当检测到测量值与预定义参考之间存在差值时，会发送一个中断来唤醒微控制器。

1.2.2 发射器

发射器具有两个相同的推挽驱动器模块，它们连接到引脚RFO1和RFO2。这两个驱动器对外部天线LC谐振腔进行差分驱动。单独将*IO配置寄存器1*位置为1，可只运行两个驱动器中的一个。每个驱动器都由具有二级制加权输出电阻的八个段组成。当所有段均开启时，MSB段的典型导通电阻为2 Ω；输出电阻典型值为1 Ω。所有段均开启，可用来定义正常传输（未调制）电平。驱动未调制电平时，也可以关闭某些段，以减小天线上信号的幅度并/或减小天线Q因子而不改变任何硬件。 *RFO正常电平定义寄存器*定义了开启哪一段来定义正常传输（未调制）电平。默认设置是所有段均开启。

使用单侧驱动器模式时，天线LC谐振腔元件数减半（因此成本减半），而且输出功率也降低。单侧驱动器模式下，可以将两个天线LC谐振腔连接到两个RFO输出上，并通过控制*IO配置寄存器1*位rfo2对其进行多路复用。

要发送数据，需要对发射器输出电平进行调制。AM和OOK调制均可支持。调制类型通过设置*辅助定义寄存器*中的位tr_am来定义。

OOK调制过程中（例如ISO14443A），发射器驱动器停止驱动载波频率。因此，天线LC谐振腔振荡的幅度会衰减，其衰减时间常数由LC谐振腔的Q因子定义。OOK调制情况下，可通过声明*辅助定义寄存器* 位ook_hr，来缩短衰减时间。OOK调制过程中，当该位被置为逻辑1时，驱动器处于三态。

在调制时间内增大输出驱动器阻抗，可实现AM调制（例如ISO14443B）。这可以通过减少开启的驱动器段来实现。通过在*AM调制深度控制寄存器*中定义目标调制深度，并发送Calibrate Modulation Depth直接命令，可将AM调制电平自动调整为目标调制深度。更多详细信息，请参见*第 1.2.20 节： AM调制深度：定义和校准*。

缓慢发射器斜升

当发射器使能时，开始以全功率驱动天线LC谐振腔，天线发射场斜升由天线LC谐振腔的Q因子定义。

不过，有一些读卡器系统，其读卡器场在使能时必须经过较长的转换时间进行斜升。STIF（Syndicat des transports d'Ile de France）规范要求从场的10%到场的90%的转换时间要长于或等于10 μs。ST25R3911B支持该功能。通过在发射器禁用时降低VSP_RF稳压值，在发射器使能时升高VSP_RF稳压值，可实现此功能。典型转换时间在3 V供电时为15 μs，在5 V供电时为20 μs。

实现缓慢转换的步骤为：

1. 发射器禁用时，将*IO配置寄存器2*位slow_up置为1。保持此状态至少2 ms，以便为VSP_RF放电。
2. 使能发射器，其输出将缓慢上升。
3. 在发送任何命令之前，将位slow_up重置为0。

1.2.3 接收器

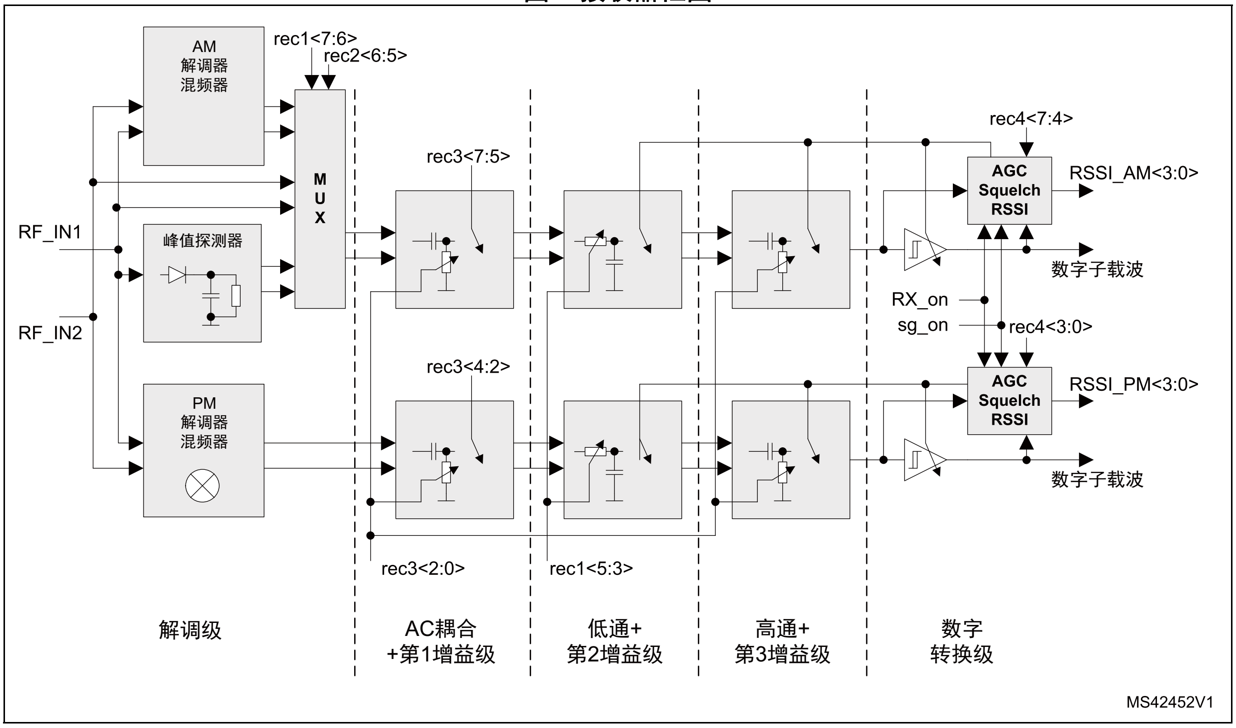
接收器对叠加在13.56 MHz载波频率上的转发器子载波调制信号进行解调。它可实现AM和/或PM解调，放大，带通滤波以及数字化子载波信号。此外，它还可实现RSSI测量、自动增益控制（AGC）和静噪。

在典型应用中，接收器输入RFI1和RFI2是电容分压器的输出，直接连接到天线线圈端子。这个概念确保了两个输入信号与天线线圈上的电压是同相的。电容分压器的设计必须确保RFI1和RFI2输入信号峰值不超过V_{SP_A}供电电压。

接收器包括两个完整的接收通道，一个用于AM解调，另一个用于PM解调。在两个通道均激活的情况下，由接收成帧逻辑自动选择用于接收成帧的通道。当*操作控制寄存器*位rx_en置为1时，接收器开启。此外，*操作控制寄存器*还包含位rx_chn和rx_man；rx_chn定义了是两个解调通道（AM和PM）均被激活，还是只有其中一个将被激活，而位rx_man则定义了两个通道均被激活时的通道选择模式（自动或手动）。接收器操作由四个接收器配置寄存器来控制。

接收器操作由信号rx_on控制，当在接收器输入端预期接收到调制信号时，该信号被置为高电平。此信号用来控制RSSI和AGC，还可通过成帧逻辑来对接收器输出进行处理。Mask Receive Timer失效后，信号rx_on自动置为高电平。信号rx_on也可由控制器通过发送直接命令Mask Receive Data和Unmask Receive Data来直接控制。*图 4*详细介绍了接收器框图。

图4. 接收器框图



解调级

第一级对叠加到HF场载波上的转发器子载波信号进行解调。AM解调采用两个不同模块来实现：

- 峰值探测器
- AM解调器混频器。

所用解调器由*接收器配置寄存器1*位amd_sel进行选择。

峰值探测器利用峰值跟随器来实现AM解调。对正负峰值均加以跟踪，以抑制共模信号。峰值探测器速率受限；它可以处理高达fc/8（1700 kHz）的子载波频率。其解调增益为G = 0.7。其输入仅取自一个解调器输入（通常是RFI1）。

AM解调器混频器采用两个接收器输入（RFI1和RFI2）的同步整流。其增益为G = 0.55。混频器解调器针对VHBR子载波频率（fc/8及更高频率）进行了优化。对于fc/8（1700 kHz）的子载波频率，峰值跟随器和混频器解调器均可使用，而对于fc/4和fc/2的子载波频率，只有混频器解调器可以使用。

PM解调也利用一个混频器来实现。PM解调器混频器是差分输出，为具有1%相变的60 mV差分信号（16.67 mV / °）。其操作针对fc/8（1700 kHz）的子载波频率进行了优化。

在进行外部解调的情况下，可以通过选择*接收器配置寄存器2*位lf_en，将引脚RFI1和RFI2上的LF信号，直接复用到增益和滤波级。

滤波和增益级

接收器链路具有带通滤波特性。滤波经过优化，可以通过子载波频率，而抑制载波频率、低频噪声和DC分量。滤波和增益分三级实现，第一级和最后一级具有一阶高通特性，而第二级具有二阶低通特性。

增益和滤波特性可通过写入*接收器配置寄存器1*（滤波）、*接收器配置寄存器3*（第一级增益）和*接收器配置寄存器4*（第二级和第三级增益）来进行优化。

第一级增益约为20 dB，可以衰减六个2.5 dB步长。还有一种特殊的提高增益的模式，可以使最大增益额外增加5.5 dB。在VHBR（fc/8和fc/4）情况下，其增益会更低。第一级增益只能通过写*接收器配置寄存器3*来进行修改。此寄存器的默认设置是实现最小增益。默认的第一级零增益点设置为60 kHz，还可通过在*接收器配置寄存器1*中写选项位将其降低至40 kHz或12 kHz。第一级和第三级的零增益点控制由共同的控制位来实现（见*表 1*）。

表1. 第一级和第三级零增益点设置

rec1<2> h200	rec1<1> h80	rec1<0> z12k	第一级零增益点	第三级零增益点
0	0	0	60 kHz	400 kHz
1	0	0	60 kHz	200 kHz
0	1	0	40 kHz	80 kHz
0	0	1	12 kHz	200 kHz
0	1	1	12 kHz	80 kHz
1	0	1	12 kHz	200 kHz
其它			未使用	

第二级和第三级的增益约为23 dB，可以衰减六个3 dB步长。这两级的增益包含于AGC和Squelch环路中。也可以在*接收器配置寄存器4*中对其进行手动设置。需要发送直接命令Reset Rx Gain来复位AGC、Squelch和RSSI模块。发送此命令会清除当前Squelch设置，并将增益衰减配置从*接收器配置寄存器4*载入到AGC和Squelch模块的内部影子寄存器中。第二级具有二阶低通滤波特性，利用*接收器配置寄存器1*的位lp2至lp0，可根据子载波频率对其通带进行调整。

参见*表 2*获取不同设置下的-1 dB截止频率。

表2. 低通控制

rec1<5> lp2	rec1<4> lp1	rec1<3> lp0	-1 dB点
0	0	0	1200 kHz
0	0	1	600 kHz
0	1	1	300 kHz
1	0	0	2 MHz
1	0	1	7 MHz
其它			未使用

*表 3*提供了有关推荐的滤波器设置的信息。对于所有支持的操作模式和接收比特率，都定义了自动预设，另外还列出了一些替代方案。自动预设通过发送直接命令Analog Preset来实现。对于Stream和Transparent模式，没有自动预设。由于滤波器特性的选择也会改变增益，因此也列出了针对不同滤波器设置的增益范围。

表3. 接收器滤波器选择和增益范围

rec1<5:3>lp<2:0>	rec1<2>h200	rec1<1>h80	rec1<0>z12k	增益（dB）					注释
				最大值 全部	最小值 1 最大值 23	最大值 1 最小值 23	最小值 全部	采用提高增益模式	
000	0	0	0	43.4	28.0	26.4	11.0	49.8	用于ISO14443A fc/128和NFC Forum Type 1 Tag的自动预设
000	1	0	0	44.0	29.0	27.5	12.0	49.7	用于ISO14443B fc/128 ISO14443 fc/64的自动预设
001	1	0	0	44.3	29	27.0	11.7	49.8	推荐用于424/484 kHz子载波
000	0	1	0	41.1	25.8	23.6	8.3	46.8	ISO14443 fc/32和fc/16的替代选择
100	0	1	0	32.0	17.0	17.2	2.0	37.6	ISO14443 fc/32和fc/16的自动预设 fc/8（1.7 kb/s）的替代选择
100	0	0	0	32.0	17.0	17.2	2.0	37.6	fc/8（1.7 kb/s）的替代选择
000	0	1	1	41.1	25.8	23.6	8.3	46.8	自动预设FeliCa™（fc/64，fc/32） ISO14443 fc/32和fc/16的替代选择
101	0	1	0	30.0	20.0	12.0	2.0	34.0	fc/8和fc/4的替代选择
101	1	0	0	30.0	20.0	12.0	2.0	34.0	fc/8和fc/4的自动预设
000	1	0	1	36.5	21.5	24.9	9.9	41.5	NFCIP-1（发起方和目标）的自动预设

数字级

数字级产生子载波信号（来自接收器）的数字表示。此数字信号随后由接收器成帧逻辑进行处理。数字级包括一个具有可调数字窗口的窗口比较器（五种可能设置，3 dB步长，调节范围为±33 mV至±120 mV）。数字窗口调节包含在AGC和Squelch环路中。此外，数字窗口也可在*接收器配置寄存器4*中进行手动设置。

AGC，Squelch和RSSI

如上所述，第二和第三增益级的增益和数字级窗口均包含在AGC和Squelch环路中。可支持11种设置。默认状态具有最小的数字窗口和最大增益。前四步能够以3 dB的步长增大数字窗口，接下来的六步还能以3 dB的步长再次降低第二和第三增益级的增益。Squelch和AGC启动的初始设置在*接收器配置寄存器4*中定义。*增益减少状态寄存器*显示了Squelch、AGC和*接收器配置寄存器4*中的初始设置产生的实际增益状态。在位防冲突过程中，如Type A时，AGC应禁用。

Squelch

此功能针对噪声条件下的接收器工作而设计。噪声可能来自标签（因处理读卡器命令而引起），或者来自于嘈杂环境。此噪声可能被误认为是转发器响应开始，从而导致解码错误。

在执行Squelch过程时，应观测数字比较器的输出。如果该输出在50 μs时间段内有两次以上的转换，则接收器增益减少3 dB，并在接下来的50 μs内对输出进行观测。重复此过程，直至50 μs内的转换次数小于等于2，或直至达到最大的增益衰减。发送直接命令Reset Rx Gain可清除此增益衰减。

执行静噪有两种可能方式：自动模式和使用直接命令Squelch。

1. 如果*接收器配置寄存器2*中的位sqm_dyn被置位，则自动模式使能。它在Tx结束18.88 μs后自动激活，在Mask Receive定时器到期时终止。此模式主要是为了抑制当标签响应不是所预期的时候（被Mask Receive定时器覆盖），对该标签处理所产生的噪声。
2. 允许命令Squelch在信号rx_on为低电平时发送。它可在控制器识别出时间窗口中存在噪声时使用。

AGC

AGC（自动增益控制）用来降低增益，以保持接收器链路不饱和。通过正确调整增益，解调过程会较少受到系统噪声影响。

AGC活动在信号rx_on被声明为高电平时开始，在该信号被复位为低电平时复位。在rx_on信号从高电平到低电平的转换过程中，接收器增益的状态存储在*增益减少状态寄存器*中。在后一级读取该寄存器可以提供上一次接收时的增益设置信息。

当AGC开启时，接收器增益会减小，使得到数字级的输入不会饱和。AGC系统包含一个比较器，其窗口比数字窗口比较器的窗口大3.5倍。当AGC功能使能时，增益减小，直至其窗口比较器的输出上不再有转换。该过程可确保数字窗口比较器输入比其阈值大了不超过3.5倍。

AGC操作由*接收器配置寄存器2*中的控制位agc_en、agc_m和agc_fast控制。位agc_en使能AGC操作，位agc_m定义AGC模式，位agc_alg定义AGC算法。

有两种AGC模式可用。AGC可以在整个Rx过程中工作（只要信号rx_on为高电平），否则只能在前八个子载波脉冲期间使能。

有两种AGC算法可用。AGC可以通过预设代码4h（最大数字窗口，最大增益）来启动，或通过将代码复位为0h（最小数字窗口，最大增益）来启动。

有预设代码的算法会更快，因此建议用于短SOF的协议（如ISO14443A fc/128）。

默认AGC设置为：

- AGC使能
- AGC在整个Rx过程中运行
- 使用带预设的算法。

RSSI

接收器还可对两个通道进行RSSI（接收信号强度指示器）测量。rx_on上升沿之后开始RSSI测量。当信号rx_on为高电平时它保持活动，而当rx_on为低电平时它会冻结。RSSI为峰值保持系统，其值只会从初始零值开始增加。每当AGC降低增益时，RSSI测量复位并从零开始。RSSI测量结果是4位的值，可通过读取*RSSI显示寄存器*获得。LSB步长为2.8 dB，最大代码为Dh（13d）。

由于RSSI测量是峰值保持类型，因此RSSI测量结果不随信号强度而发生任何变化（将保持最大值）。要跟踪RSSI变化，可以通过发送直接命令Clear RSSI来复位RSSI位并重新开始测量。

NFCIP-1主动通信模式下的接收器

接收器内置了多种功能来实现主动NFCIP-1通信的可靠接收。在NFCIP-1模式完成配置后，所有这些设置均可通过发送直接命令Analog Preset来自动预设。除了滤波选项之外，*接收器配置寄存器3*中还存储着NFCIP-1主动通信模式的两个特殊配置位。

位lim可使能位于第一和第二增益级之后的限幅电路。限幅电路的功能是限制滤波级之后的信号电平（当NFCIP-1对端关闭，输出信号电平可能会相当高）。

位rg_nfc使第二和第三滤波级的增益衰减量为-6 dB，同时保持数字比较器窗口为最大。

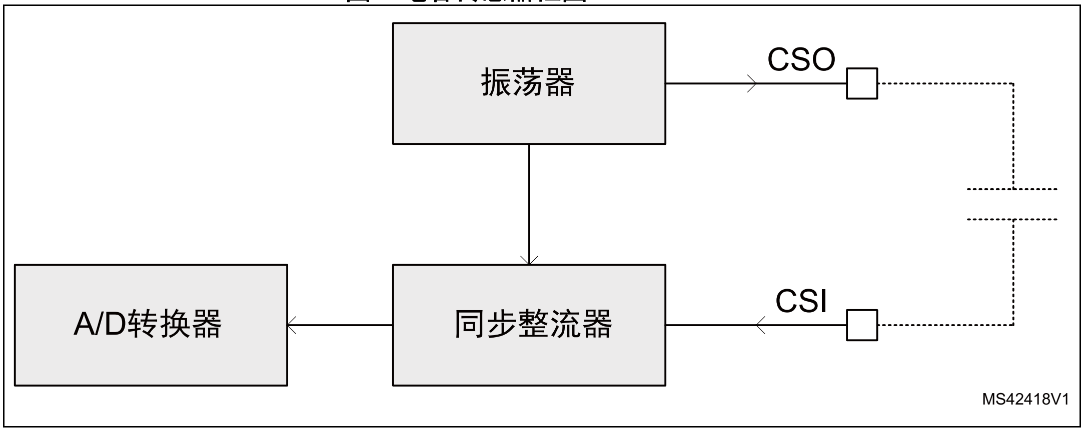
1.2.4 电容传感器

电容传感器模块（*图 5*）可以对标签是否存在进行低功耗检测。

该电容测量系统含有两个电极。一个是发射固定频率（范围为几百kHz）电场的激励电极（CSO），另一个是感应电极（CSI）。在感应电极中产生的电荷量代表着两个电极之间的电容。电容传感器电极可耐受对地寄生电容（可达25 pF）和输入泄漏（可达1 MΩ）。

由于感应电极上的电荷是以激励电极的频率来产生，因此可以使用一个同步整流器来检测它。这确保了良好的抗干扰性和对寄生电容（除激励电极之外的所有节点）的高耐受性。同步整流器输出是一个DC电压，该电压与激励电极和感应电极之间的电容成线性比例。绝对模式下，输出的DC电压由A/D转换器进行转换。其结果存储在*A/D转换器输出寄存器*（另见*第 1.2.8节： A/D转换器*）。

图5. 电容传感器框图



接近两个电极的任何导电物体（人手或标签天线绕组）都会改变激励电极和感应电极之间的电容，因为导电物体会在两个电极之间的通路部分产生电导而“缩短”两个电极之间的距离。

通过发送直接命令MeasureCapacitance，可以开始电容测量。ST25R3911B还可配置为自动唤醒并执行周期性的电容测量。将结果与所存储的参考值或先前测量的平均值进行比较，如果其差值大于预定义值，则触发IRQ来唤醒控制器（另见*第 1.2.5节： 唤醒模式*）。

电容传感器增益可在*电容传感器显示寄存器*中进行调节。默认增益为2.8 V/pF（典型值），最大增益为6.5 V/pF（典型值）。由于A/D转换器的LSB大约相当于7.8 mV，因此默认增益会带来2.8 fF/LSB的灵敏度（最大增益的情况下，灵敏度为1.2 fF/LSB）。

电容测量的持续时间为200 μs，测量过程中的电流消耗为1.1 mA（典型值）。因此，如果唤醒模式下每100 ms执行一次电容测量，那么平均电流消耗结果为5.8 μA（唤醒模式下，待机消耗为3.6 μA）。

电容器传感器校准

电容传感器包含一个校准单元，可以内部补偿CSI和CSO之间的寄生电容，从而可以保留整个测量范围内的电容变化信息。使用五个位来控制此校准。最小校准步长和可用校准范围分别为0.1 pF和3.1 pF。校准可通过写入*电容传感器显示寄存器*来手动完成，或通过发送直接命令Calibrate Capacitive Sensor来自动完成。Calibrate Capacitive Sensor命令的状态和校准结果值存储在*电容传感器显示寄存器*中。

为了避免电容传感器与晶体振荡器及读卡器磁场之间的干扰，并确保可重复结果，强烈建议只在掉电模式下进行电容测量和校准。

1.2.5 唤醒模式

声明*操作控制寄存器*位wu，同时其他位置为0，会使ST25R3911B进入唤醒模式，可用来对卡片进行低功耗检测。ST25R3911B具有对卡片是否存在进行低功耗检测的几种可能方式（电容传感器，相位测量，幅度测量）。集成的低功耗32 kHzRC振荡器和寄存器可配置唤醒定时器可用来实现周期性检测。

通常利用一个所谓的轮询循环，可检测卡片是否存在。在此过程中，读卡器场周期性地开启，控制器利用RF命令来检查卡片是否存在。由于发出一个命令前读卡器场必须接通5 ms，因而此过程会消耗大量能量。

通过检测读卡器环境变化（由卡片产生），可以对卡片进行低功耗检测。当检测到变化时，向控制器发送一个中断。其结果是，控制器可以执行定期的轮询循环。

在唤醒模式下，ST25R3911B周期性地进行所配置读卡器环境测量，并在检测到与所配置的参考值有差异时，向控制器发送一个IRQ。

可通过进行相位、幅度和电容传感器 测量，来检测卡片是否存在。

如果靠近读卡器天线线圈处存在卡片，会使天线LC谐振腔信号相位和幅度发生变化。相比于发送一个协议激活命令所需的激活时间，执行相位或幅度测量所需的读卡器场激活时间极短（~20 μs）。

此外，测量过程中的功率水平可能低于正常工作下的功率水平，因为不必为卡片供电使其产生耦合效应。可以通过改变*RFO正常电平定义寄存器*来降低发射功率。

电容传感器可检测两个激励电极之间的寄生电容变化。此电容变化可能是由于卡片天线或手持卡片而引起。关于电容传感器的详细信息，请参见*第 1.1.5 节： 电容传感器*。

位于地址31h至3Dh上的寄存器专门用于唤醒定时器配置和显示。*唤醒定时器控制寄存器*是主唤醒模式配置寄存器。可在该寄存器中对连续检测和测量之间的超时时间进行选择。可支持10至800 ms的超时范围，默认值为100 ms。可选择可用测量的任意组合（一个，两个或全部）。

接下来的十二个寄存器（32h至3Dh）可配置三种可能的检测测量并存储其结果，每种测量使用四个寄存器。

当测量值与参考值之差大于所配置阈值时，发送一个IRQ。参考值有两种可能的定义：

1. ST25R3911B可以计算基于先前测量的参考值（自动取平均）
2. 控制器决定了参考值并将其存入寄存器

四个寄存器系列中的第一个是*幅度测量配置寄存器*。此寄存器中定义了与参考值之间的差值（触发了IRQ）、参考值定义方法和自动取平均情况下最终测量结果的权重。参考值由控制器定义时，下一个寄存器将存储该参考值。接着两个寄存器是显示寄存器。第一个存储自动平均参考值，第二个存储最终测量结果。

唤醒模式配置寄存器必须在进入唤醒模式之前进行配置。在激活唤醒模式时，任何对其配置的修改都可能导致不可预测的结果。

自动取平均

自动取平均的情况下，每次测量后都重新计算参考值， 按照

NewAverage = OldAverage + (MeasuredValue - OldAverage) / Weight

进行13位计算以实现足够的精度。初始化（上电或Set Default命令之后）之后首次进入唤醒模式时，自动取平均过程初始化。初始值取自测量显示寄存器（例如*幅度测量显示寄存器*），直至此寄存器内容不为零。

每个测量配置寄存器都包含一个位，用来定义平均值计算是否要考虑引起中断的测量（例如*幅度测量配置寄存器*的位am_aam）。

1.2.6 石英晶体振荡器

石英晶体振荡器可采用13.56 MHz和27.12 MHz晶振。当*操作控制寄存器*位en被置为1时，石英晶体振荡器工作使能。当振荡器频率稳定时，会发送一个中断来通知微控制器（见*第 1.3.24节： 主中断寄存器*）。

可通过观测*辅助显示寄存器*位osc_ok来观测振荡器的状态。当振荡器频率稳定时，该位置为“1”。

振荡器基于由受控电流源供电的逆变器级。反馈环路控制偏置电流，以便将XTI引脚上的幅度调节为1 V_{pp}。

要快速启动读卡器，可在振荡器幅度超过750 mV_{pp}时，发送一个中断。

除以2之后可确保13.56 MHz信号的占空比为50%，这可使发射器性能更佳（无PW失真）。因此要实现更好的性能，建议使用27.12 MHz晶振。

在使用13.56 MHz晶振的情况下，可增加振荡器信号数字转换级的偏置电流，以确保PW失真尽可能低。

注： *在VHBR接收的情况下（比特率为fc/8及以上）， 由于接收成帧需要高频时钟，因此必须使用27.12 MHz晶振。*

振荡器输出还可用来驱动时钟信号输出引脚（MCU_CLK），该引脚可由外部微控制器使用。MCU_CLK引脚在*IO配置寄存器2*中进行配置。

1.2.7 定时器

ST25R3911B包含几个定时器，可无需运行控制器中的计数器，从而简化了控制器代码实现，并提高了代码在不同控制器的可移植性。

每个定时器具有一个或多个关联配置寄存器，其中定义了超时持续时间和不同工作模式。这些配置寄存器必须在相应定时器不工作时进行置位。定时器激活时，任何对定时器配置的修改都可能导致不可预测的结果。

除唤醒定时器之外的所有定时器均可通过直接命令Clear停止。

注： *通用和无响应定时器控制寄存器中位nrt_emv被置为1时，No-Response定时器不停止*

Mask Receive定时器和No-Response定时器

传输结束时（EOF结束时），Mask Receive定时器和No-Response定时器均自动启动。

Mask Receive定时器

在未接收到标签应答期间，当Tx结束之后，通过将rx_on信号保持低电平，Mask Receive定时器可阻断接收器和成帧逻辑接收过程。

当Mask Receive定时器运行时，Squelch自动开启（如果使能的话）。Mask Receive定时器不产生IRQ。

Mask Receive定时器超时在*屏蔽接收定时器寄存器*中进行配置。

NFCIP-1主动通信模式下，当对端NFC设备（用来进行通信的设备）开启其场时，Mask Receive定时器开启。

Mask Receive定时器在低功耗初始NFC目标模式中有特殊用途。检测到发起方场后，控制器开启振荡器、稳压器和接收器。通过发送直接命令Start Mask Receive Timer，启动Mask Receive定时器。Mask Receive Timer到期后，开始观测接收器输出，以检测发起方消息是否开始。此模式下，Mask Receive定时器时钟另外除以8（一次计数为512/fc），覆盖范围可达9.6 ms。

No-Response定时器

如其名称所示，此定时器用来观测在传输结束后开始的配置时间内，是否检测到标签响应。*定时器和NFC中断寄存器*中的I_nre标志指示由此定时器超时引起的中断事件。

No-Response定时器通过写入寄存器*无响应定时器寄存器1*和*无响应定时器寄存器2*进行配置。通过设置*通用和无响应定时器控制寄存器*中的位nrt_emv和nrt_step，定义No-Response定时器的操作选项。

位nrt_step配置No-Response定时器的时间步长。有两个步长可用，64/fc（4.72 µs）可覆盖至309 ms的范围，而4096/fc可覆盖至19.8 s的范围。

位nrt_emv控制定时器操作模式：

- 当此位置为0（默认模式）时，如果在检测到标签应答开始前，No-Response定时器就已失效，并且rx_on被强制置为低电平以停止接收器过程，则产生一个IRQ。相反的情况下，在超时之前就已检测到标签应答开始，则定时器停止，不会产生IRQ。
- 当此位被置为1时，定时器会在超时时无条件产生IRQ，并且不会被直接命令Clear所停止。这意味着IRQ与是否检测到标签应答无关。超时的情况下，进行标签应答处理，而不作其他操作；相反的情况下，如果不另外对标签响应进行处理，则信号rx_on被强制置为低电平，以停止接收过程。

No-Response定时器也可通过直接命令Start No-Response Timer来开启。该命令是用来扩大No-Response定时器超时范围（由No-Response定时器控制寄存器所定义）。当此命令在定时器运行时发送，则定时器会复位并重启。NFCIP-1主动通信模式下，No-Response定时器不能使用直接命令开启。

如果此定时器在对端NFC设备（用来进行通信的设备）开启其场之前到期，则发送一个中断。

所有模式下，定时器被设置为非零值，M_txe不能被置位，并且中断I_txe通过SPI进行读取，以实现发射器和定时器同步。

General Purpose定时器

通过设置*通用和无响应定时器控制寄存器*，对General Purpose定时器触发进行配置。它可用于测量接收过程持续时间（SOF之后，接收开始时触发）或暂停PCD至PICC的响应时间（EOF之后，接收结束时触发）。NFCIP-1主动通信模式下，它可用来暂停关闭场。所有情况下，当它到期时都会发送一个IRQ。

General Purpose定时器也可通过发送直接命令Start General Purpose Timer来开启。当此命令在定时器运行时发送，则定时器会复位并重启。

Wake-Up定时器

唤醒定时器主要用于唤醒模式（见*第 1.2.5节： 唤醒模式*）。此外，它还可通过发送直接命令Start Wake-Up Timer来使用。除唤醒模式之外，所有工作模式均允许使用此命令。当此命令发送至RC振荡器并用作唤醒定时器启动的时钟源时，超时由*唤醒定时器控制寄存器*中设置来定义。当定时器到期，发送一个IRQ（在*错误和唤醒中断寄存器*中有I_wt标志）。

Wake-Up定时器用于低功耗工作模式，在这种模式下其他定时器不能使用（在低功耗工作模式下，用作其他定时器时钟源的晶体振荡器不工作）。

注： Wake-Up定时器超时容限由RC振荡器的容限来定义。

1.2.8 A/D转换器

ST25R3911B包含一个8位逐次逼近A/D转换器。该A/D转换器的输入可复用不同信号源，以用于多个直接命令和调节过程。最后一次A/D转换的结果存储在*A/D转换器输出寄存器*中。

A/D转换器有绝对和相对两种工作模式。

- 绝对模式下，低压参考值为0 V，高压参考值为2 V。这意味着A/D转换器输入范围为0 至 2 V，00h码意味着输入为0 V或更低，FFh则意味着输入为2 V - 1 LSB或更高（LSB为 7.8125 mV）。
- 相对模式下，低压参考值为1/6的V_{SP_A}，高压参考值5/6的V_{SP_A}，因此输入范围为1/6至 5/6 V_{SP_A}。

相对模式仅用于相位测量（相位检测器输出与电源电压成正比）。所有其他情况下，使用绝对模式。

1.2.9 相位和幅度检测器

此模块用来为A/D转换器提供输入，以实现幅度和相位测量，此测量也可由直接命令 Measure Amplitude和Measure Phase来实现。一些相位和幅度测量也可通过直接命令 Calibrate Modulation Depth和Calibrate Antenna来实现。

相位检测器

相位检测器观测发射器输出信号（RFO1和RFO2）和接收器输入信号RFI1和RFI2之间的相位差，此差值与天线LC谐振腔上的信号成正比。这些信号首先通过数字比较器进行转化，然后数字化的信号由具有强低通滤波器的相位检测器进行处理，以得到平均相差。

相位检测器输出与两输入之间的相位差成反比。90°相移会产生V_{SP_A}/2的输出电压，如果两个输入同相则输出电压为V_{SP_A}，如果它们是反相的，则输出电压为0 V。执行直接命令 Measure Phase时，此输出被A/D转换器输入复用（执行命令Measure Phase的过程中，A/D 转换器处于相对模式）。由于A/D转换器范围为1/6至5/6 V_{SP_A}，因此相位检测器的实际范围为 30º 至 150º。

*图 6*和*图 7*显示了分别在90°和135°相移情况下相位检测器的两个输入和输出。

图6. 90°相移情况下，相位检测器输入和输出

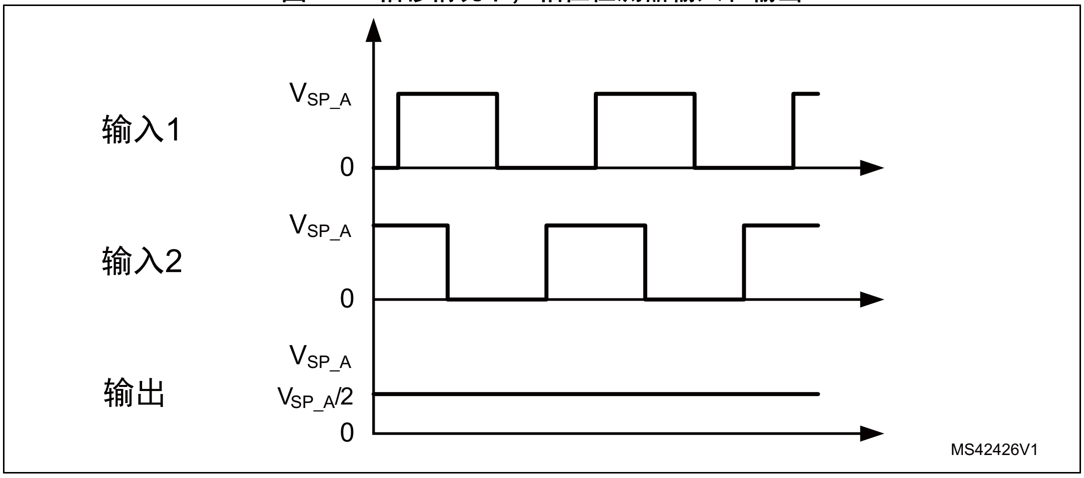
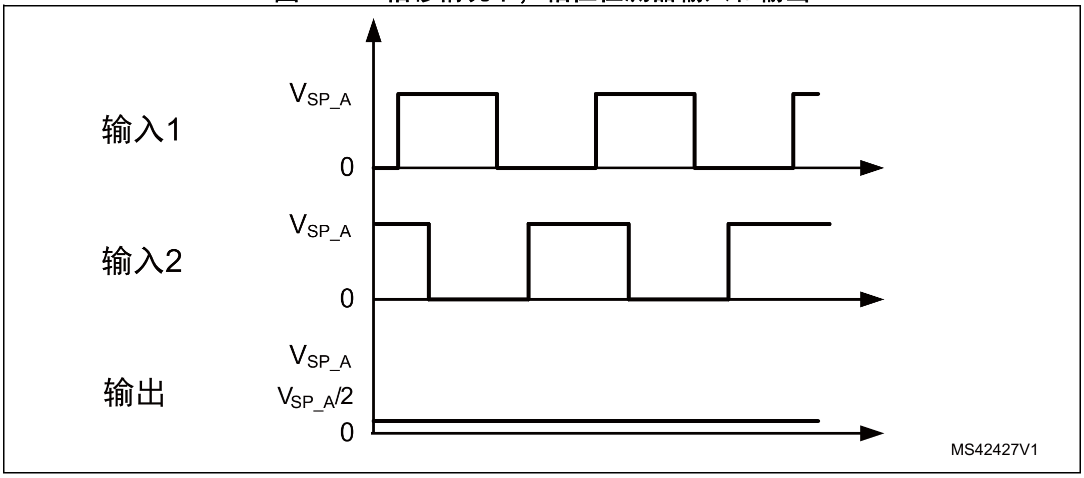


图7. 135°相移情况下，相位检测器输入和输出



幅度检测器

来自引脚RFI1和RFI2的信号用作自混频级的输入。此级输出是一个DC电压，与引脚RFI1和RFI2上的信号幅度成正比。执行直接命令Measure Amplitude时，此输出复用至A/D转换器输入。

1.2.10 外场检测器

外场检测器用来检测是否存在产生RF场的外部设备。在NFCIP-1主动通信模式下它会自动开启运行；也可在其他模式下使用。外场检测器支持两种不同的检测阈值，Peer Detection Threshold和Collision Avoidance Threshold。两个阈值可通过写入*外部场检测阈值寄存器*来单独设置。通过读取*辅助显示寄存器*，可检查外场检测器输出的实际状态。此模块的输入信号来自RFI1引脚。

对端检测阈值

此阈值用来检测对端NFC设备（用来进行NFC通信）所发射的场（如果ST25R3911B是目标则为发起方场，而如果ST25R3911B是发起方，则为目标场）。可在75至800 mV_{pp}范围内选择。当此阈值使能，则外场检测器处于低功耗模式。当检测到外部场以及外部场断开时，都会产生一个中断。利用这种实现机制，它还可用来检测外场消失的时间。这可用来检测对端NFC设备（可能是发起方或目标方）停止发射RF场的时间。

当*比特率定义寄存器*中选择了NFCIP-1模式（发起方或目标方）时，外场检测器自动使能为低功耗Peer Detection模式。

此外，它还可通过*辅助定义寄存器*中的en_fd来使能。

防冲突阈值

在RF Collision Avoidance时序过程中（通过发送NFC Field ON命令来执行），使用此阈值（见*NFC Field ON命令*）。可在25至800 mV_{pp}范围内选择。

1.2.11 电源供电系统

ST25R3911B（*图 8*）具有两个正供电引脚，VDD和VDD_IO。

VDD是主供电引脚。它通过三个稳压器（VSP_A、VSP_D和VSP_RF）为ST25R3911B模块供电。

V_{DD}可支持的范围为2.4至5.5 V。

V_{DD_IO}用来定义数字通信引脚（/SS、MISO、MOSI、SCLK、IRQ、MCU_CLK）的供电电平。数字通信引脚通过电平移位器与ST25R3911B逻辑连接，因此内部供电电压可能高于或低于V_{DD_IO}。V_{DD_IO}可支持的范围为1.65至5.5 V。

图8. ST25R3911B电源供电

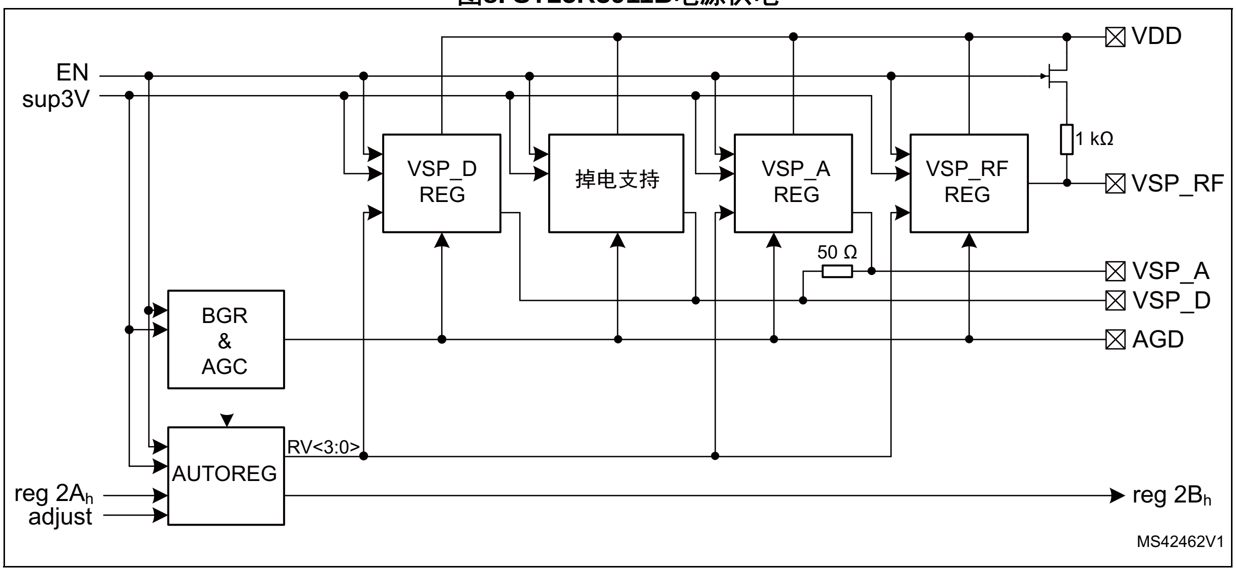


*图 8*显示了ST25R3911B供电系统的建立模块和控制它的信号。

供电系统包括三个稳压器，一个掉电支持模块，一个产生模拟参考电压（AGD）的模块和一个执行自动电源调节程序的模块。三个稳压器为模拟块（VSP_A）、逻辑（VSP_D）和发射器（VSP_RF）供电。5V供电下，必须使用VSP_A和VSP_D稳压器，以便为只能使用3.3V器件的模拟和逻辑块提供稳定电压。为了提高系统PSRR，建议VSP_A和VSP_D稳压器使用3V供电，VSP_RF稳压器可以使用任意供电电压。

稳压值可自动调节，以便在获得最大稳压时仍能具有良好的PSRR。所有稳压器引脚都具有可连接到地电位的对应负电压引脚（VSS）。其分立的原因是为了将内部供电线路上压降引起的噪声去耦。

*图 2*和*图 3*显示了典型的ST25R3911B应用原理图，其中使用了所有的稳压器。所有稳压器引脚和AGD电压都连接了电容作为缓冲。*表 4*中详细给出了建议的阻断电容值。

表4. 建议的阻断电容值

引脚	建议电容
AGD-VSS	1 µF，并联10 nF
VSP_A-VSN_A VSP_D-VSN_D	2.2 µF，并联10 nF 2.2 µF，并联10 nF
VSP_RF-VSN_RF	2.2 µF，并联10 nF

稳压器有两种基本工作模式，取决于供电电压，3.3 V供电模式（最大为3.6 V）和5 V供电模式（最大5.5 V）。供电模式通过写入*IO配置寄存器2*中的位sup3 V进行设置。默认设置是5 V，因此在3.3 V供电的情况下，上电后该位必须置为1。

3.3 V模式下，所有稳压器都设置为相同的稳压值，范围为2.4 V至3.4 V，而在5 V模式下，只有VSP_RF可设置为3.9 V至5.1 V范围内的值，而VSP_A和VSP_D均固定为3.4 V。

当信号en为高电平时稳压器工作（en是*操作控制寄存器*中的配置位）。当信号en为低电平时，ST25R3911B处于低功耗掉电模式。此模式下，供电系统消耗也是最小的。

VSP_RF稳压器

此稳压器是用来提高发射器的PSRR（发射器电源噪声会发射出去，并反馈到接收器）。通过写入和读取两个稳压器寄存器，可对VSP_RF稳压器运行进行控制和观测：

- *稳压器控制寄存器*控制稳压器模式和稳压值。位reg_s控制稳压器模式。它置为0（默认状态）的情况下，稳压值利用直接命令Adjust Regulators来设置。当位reg_s声明为1时，稳压值由同一个寄存器的位rege_3至rege_1来定义。稳压调节范围取决于电源供电模式。5 V供电模式下，调节范围在3.9 V至5.1 V之间，步长为120 mV，在3.3 V供电模式的情况下，调节范围为2.4 V至3.4 V，步长为100 mV。默认稳压值为其最大值（5 V和3.3 V供电模式情况下分别为5.1 V和3.4 V）。

- *稳压器和定时器显示寄存器*是只读寄存器，显示稳压器运行时的实际稳压值。因为可以观测到直接命令Adjust Regulators带来的实际稳压值，因而在自动模式下十分有用。

VSP_RF稳压器还包含一个限流器，将正常工作时的稳压器电流典型值限制为200mA$_{rms}$（短路时为500mA）。在要求发射器输出电流高于200mA$_{rms}$的情况下，VSP_RF稳压器不能用来为发射器供电，VSP_RF必须外部连接到VDD上（不允许VSP_RF连接高于V_{DD}的供电电压）。

发射器电流的压降是ST25R3911B功耗的主电源。该压降由发射器驱动器上的降压和VSP_RF稳压器上的降压组成。因此，建议使用直接命令Adjust Regulators来设置稳压值。由于稳压器压降，可实现良好的电源抑制比，并使耗散功率相对较低。

掉电模式下，VSP_RF稳压器不工作。

VSP_RF引脚通过1 kΩ的电阻连接到VDD。

连接电阻可确保系统平稳上电，并能够从掉电模式平稳过渡到其他工作模式。

VSP_A和VSP_D稳压器

VSP_A和VSP_D稳压器分别用来为ST25R3911B模拟和数字模块供电。3.3 V模式下，VSP_A和VSP_D稳压器被设置为与VSP_RF稳压器相同的稳压值，5 V模式下，VSP_A和VSP_D的稳压值固定为3.4 V。

5 V模式下，必须使用VSP_A和VSP_D稳压器，因为采用这两个引脚供电的模拟和数字模块包含两个低压晶体管，其所支持的最大供电电压为3.6 V。3.3 V供电模式下，强烈建议使用稳压器来提高模拟处理的PSRR。

对于低成本应用，可以禁用VSP_D稳压器并通过将VSP_A和VSP_D外部短路（*IO配置寄存器2*中的配置位vspd_off）来为数字模块供电。VSP_D稳压器禁用的情况下，如果VSP_A比VDD低了不超过300 mV，那么VSP_D可选择从VDD供电（仅限3.3 V模式）。

掉电支持模块

掉电模式下，稳压器禁用以节约电流。此模式下，使能低功耗掉电支持模块，以使VSP_D和VSP_A保持低于3.6 V。此模式中，典型稳压值在5 V供电下为3.1 V，在3 V供电下为2.2 V。当设置为3.3 V供电模式时，掉电支持模块禁用，其输出通过1 kΩ电阻连接到VDD。

5 V供电下，掉电支持模块的典型电流消耗为600 nA。

供电电压测量

使用直接命令MeasurePowerSupply，可以测量VDD和稳压值VSP_A、VSP_D和VSP_RF。

1.2.12 利用外部微控制器进行通信

ST25R3911B 是一个从设备，并且所有通信均由外部微控制器发起。通过4线串行外设接口（Serial Peripheral Interface，SPI）来实现通信。ST25R3911B发送一个中断请求（引脚IRQ）到微控制器，当振荡器工作时，该微控制器可使用MCU_CLK引脚上可用的时钟信号。

串行外设接口（SPI）

当信号/SS为高电平，则SPI接口复位，当它为低电平时，SPI使能。建议无论SPI是否使用，都将/SS 保持为高电平。MOSI在SCLK的下降沿进行采样。所有通信均以8位（字节）块来完成。/SS从高到低转换后传输的第一个字节的前两位定义SPI工作模式。

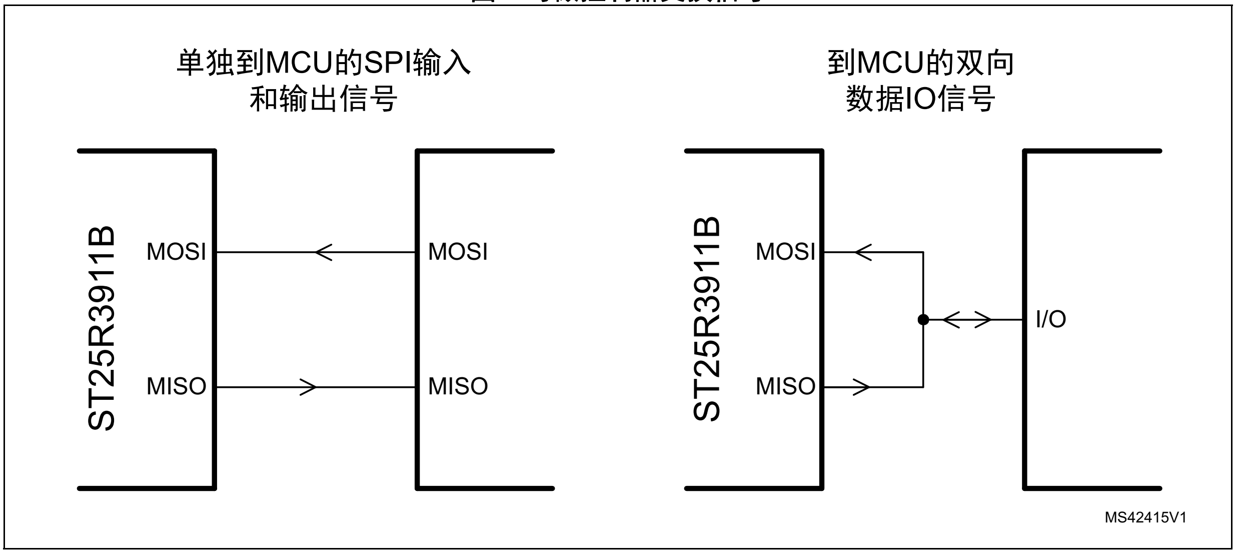
表5. 串行数据接口（4线接口）信号线

名称	信号	信号电平	说明
/SS	数字输入	CMOS	SPI使能（低电平激活）
MOSI	数字输入		串行数据输入
MISO	三态数字输出		串行数据输出
SCLK	数字输入		串行通信的时钟

总是先发送MSB位（对地址和数据有效）。

读/写模式支持地址自动递增。这意味着，如果在地址和第一个数据字节之后还额外发送/读取了一些数据字节，那么它们将写入到/读取自增加了“1”的地址。*图 9*定义了可能的模式。

图9. 与微控制器交换信号



MISO输出通常是三态的，仅当输出数据可用时才被驱动。因此，MOSI和MISO可外部短接，以产生双向信号。

MISO输出为三态期间， 可以通过激活*IO配置寄存器2*中的选项位miso_pd1和miso_pd2，来接通10 kΩ下拉。

*表 6*提供了关于SPI工作模式的信息。任意ST25R3911B工作模式下，都可进行寄存器读写。en（*操作控制寄存器*的位7）置位并且晶体振荡器频率稳定的情况下，可以进行FIFO操作。

表6. SPI工作模式

模式	模式（通信位）								相关数据
	模式		尾标						
	M1	M0	C5	C4	C3	C2	C1	C0	
寄存器写	0	0	A5	A4	A3	A2	A1	A0	数据字节（或自动递增时有更多字节）
寄存器读	0	0	A5	A4	A3	A2	A1	A0	
FIFO负荷	1	0	0	0	0	0	0	0	FIFO数据的一个或多个字节
FIFO复位	1	0	1	1	1	1	1	1	
DirectCommand模式	1	1	C5	C4	C3	C2	C1	C0	-

将数据写入可寻址寄存器（写模式）

*图 10*和*图 11*显示了采用自动递增地址写入单个字节和写入多个字节的情况。SPI工作模式位后面，是待写入的寄存器地址。然后一个或多个数据字节从SPI进行传输，始终是从MSB到LSB。该数据字节在其上个时钟的下降沿写入寄存器。在发送8位包（一个字节）之前就通过将/SS置为高电平而使通信终止的情况下，不执行向该寄存器的写入。如果所定义的地址上寄存器不存在或是只读寄存器，则不执行写操作。

图10. SPI通信：写入一个字节

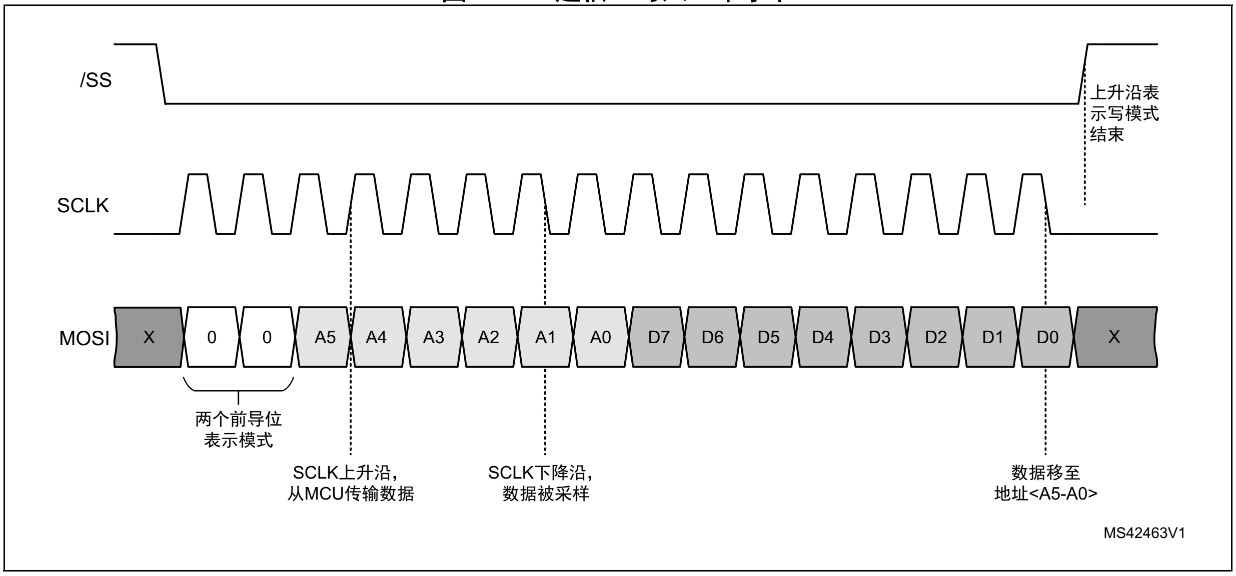
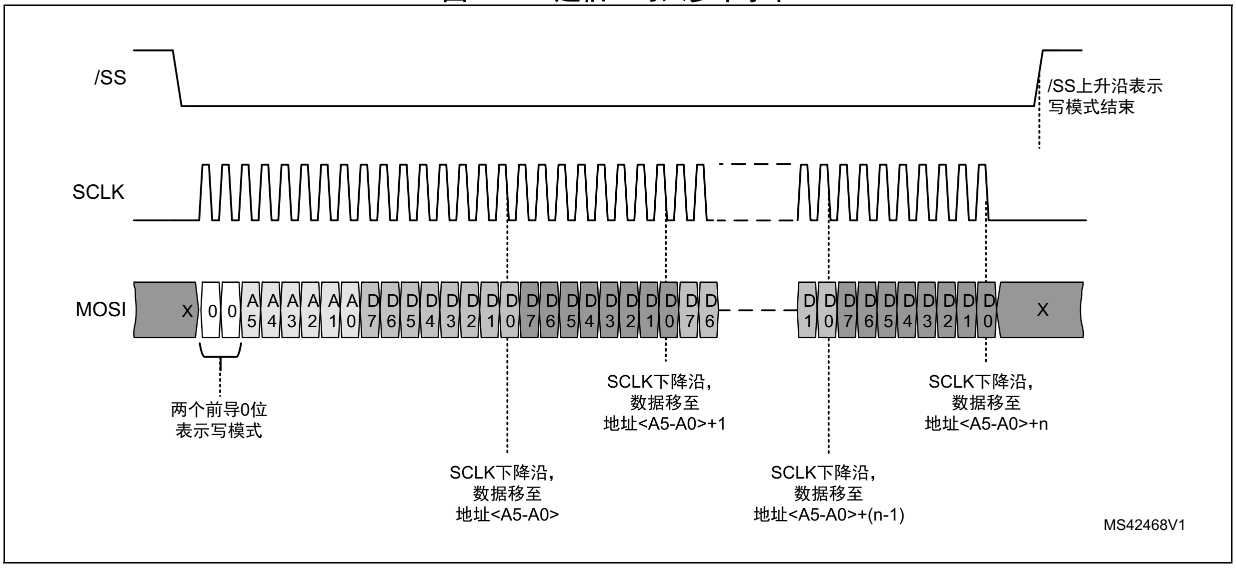


图11. SPI通信：写入多个字节



从可寻址寄存器读取数据（读模式）

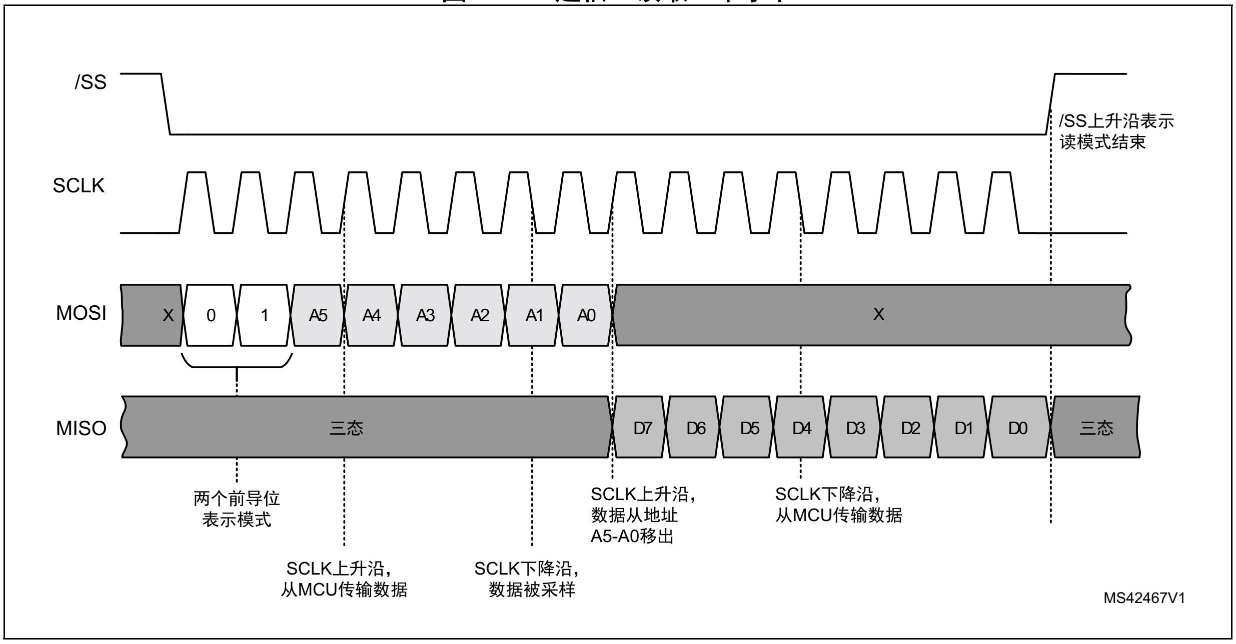
在SPI工作模式位后面，待读取的寄存器地址必须是按从MSB到LSB的顺序给出。然后一个或多个数据字节被传输到MISO输出，始终按从MSB到LSB的顺序。在写模式情况下，读模式也支持地址自动递增。

MOSI在SCLK的下降沿进行采样（如下图所示），待从ST25R3911B内部寄存器读取的数据在SCLK上升沿被驱动至MISO引脚，并在SCLK下降沿由主设备进行采样。

如果所定义的地址上寄存器不存在，则向MISO发送全0数据。

*图 12*是读取单个字节的示例。

图12. SPI通信：读取一个字节

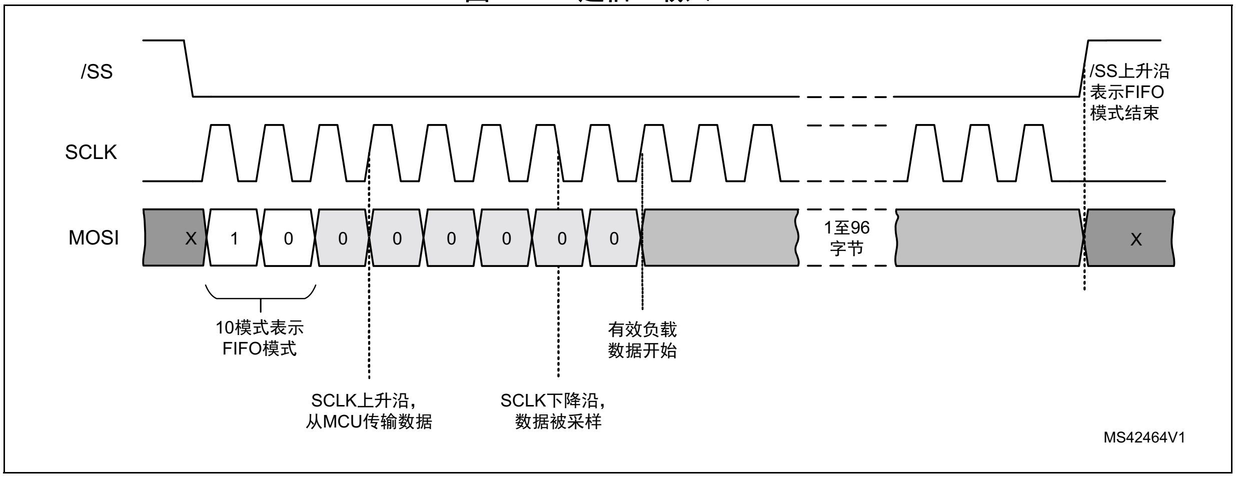


向FIFO载入传输数据

向FIFO载入传输数据类似于向可寻址寄存器写入数据。区别是在载入更多字节时，所有字节都会进入FIFO。SPI工作模式位10指示FIFO工作。向FIFO载入传输数据时，所有位<C5 – C0>均置为0。随后会传输一个比特流——其数据待发送（1至96字节）。在发送8位包（一个字节）之前就通过将/SS置为高电平而使通信终止的情况下，该特定字节不会写入到FIFO中。

图 13显示了如何向FIFO中载入传输数据。

图13. SPI通信：载入FIFO

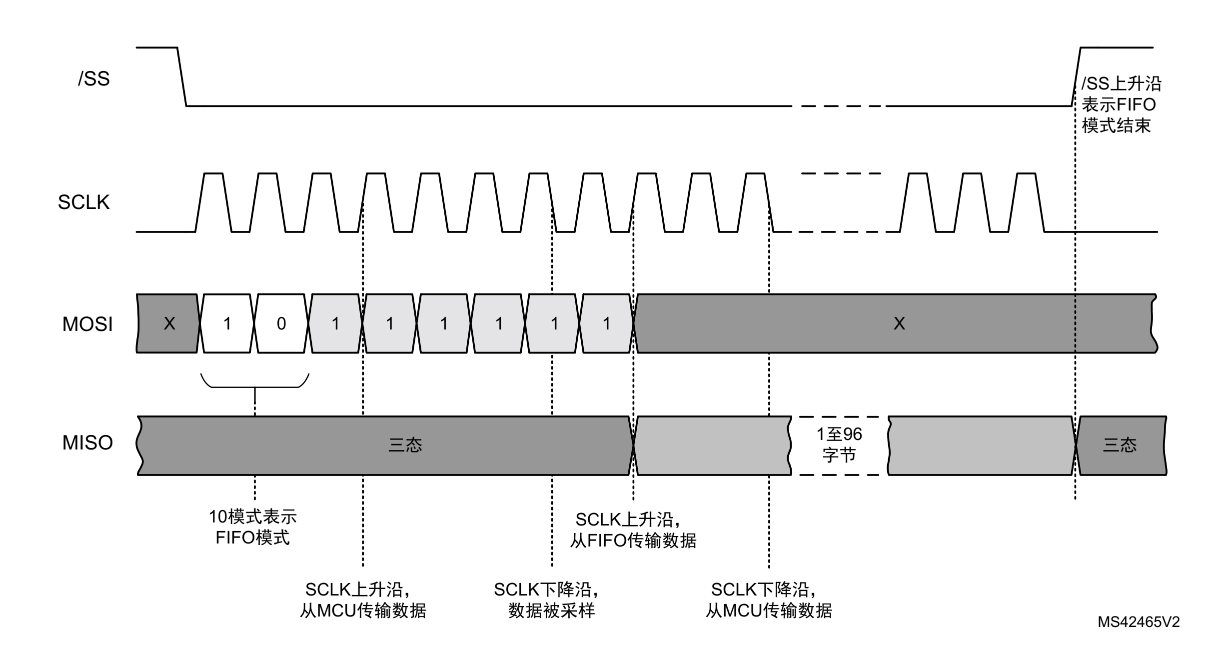


从FIFO中读取接收到的数据

从FIFO中读取接收到的数据类似于从可寻址寄存器读取数据。区别是在读取更多字节时，它们全部都来自于FIFO。SPI工作模式位10指示FIFO工作。从FIFO读取接收到的数据时，所有位<C5 – C0>均置为1。像从可寻址寄存器读取数据一样，在随后的SCLK上升沿，会出

现来自FIFO的数据。如果在读取8位包（一个字节）之前就通过将/SS置为高电平而使该命令完成，则该特定字节被视为未读，并会在下一次FIFO读操作中被首先读取。

图14. SPI通信：读取FIFO

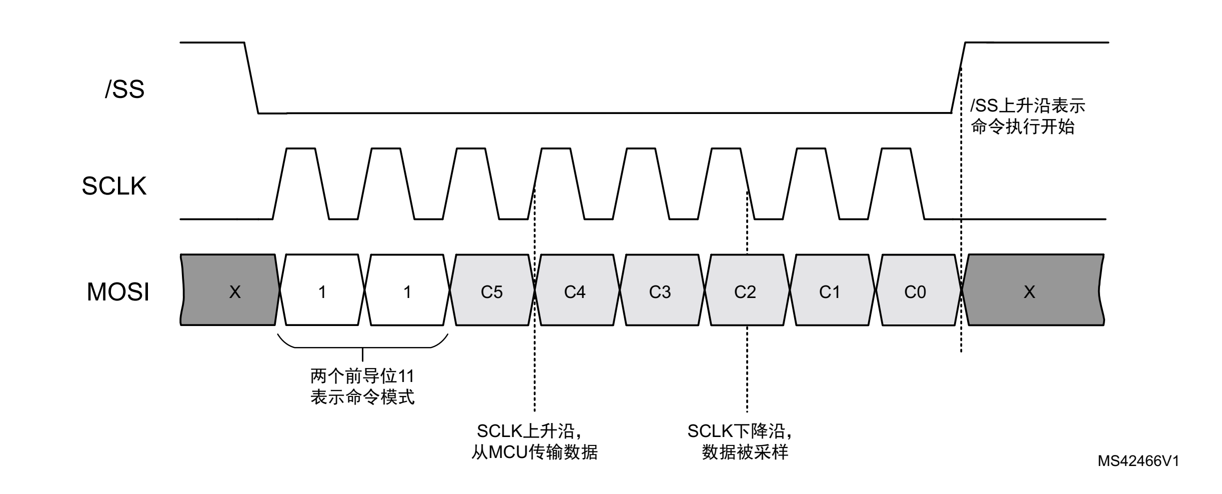


直接命令模式

直接命令模式没有参数，因此会发送单个字节。SPI工作模式位11指示直接命令模式。接下来的六个位定义了命令代码，从MSB至LSB发送。命令在上个时钟的下降沿执行（见*图 15*）。

一些直接命令是即时执行的，还有一些命令会启动某些持续的过程（校准，测量……）。执行这些命令时，不允许SPI接口上有其他活动。这些命令执行结束后，发送一个IRQ。

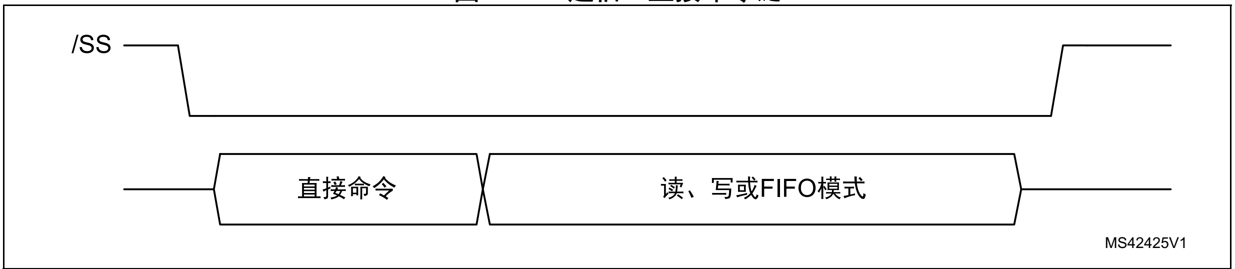
图15. SPI通信：直接命令



直接命令链

如*图 16*中所示，即时执行的直接命令之后可以跟随另一个SPI模式（读，写或FIFO），其间无需停用/SS信号。

图16. SPI通信：直接命令链



SPI时间设置

表7. SPI时间设置

符号	参数	最小值	典型值	最大值	单位	注释
通用时间设置（V_{DD} = V_{DD_IO} = V_{SP_D} = 3.3 V，25 °C）						
T_{SCLK}	SCLK周期	167	-	-	ns	T_{SCLK}=T_{SCLKL}+T_{SCLKH}，使用较短的SCLK周期会导致错误的FIFO操作。
T_{SCLKL}	SCLK低	70	-	1	ns	-
T_{SCLKH}	SCLK高	70	-	-	ns	-
T_{SSH}	SPI复位（/SS高）	100	-	-	ns	-
T_{NCSL}	/SS下降至SCLK上升	25	-	-	ns	第一个SCLK脉冲
T_{NCSH}	SCLK下降至/SS上升	300	-	-	ns	最后一个SCLK脉冲
T_{DIS}	建立时间内的数据	10	-	-	ns	-
T_{DIH}	数据输入保持时间	10	-	-	ns	-

表7. SPI时间设置（续）

符号	参数	最小值	典型值	最大值	单位	注释
读时序（$V_{DD} = V_{DD\_IO} = V_{SP\_D}$ = 3.3 V，25 °C，C_{LOAD} ≤ 50 pF）						
T_{DOD}	数据输出延迟	-	20	-	ns	-
T_{DOHZ}	数据输出为高阻抗延迟	-	20	-	ns	-

图17. SPI通用时间设置

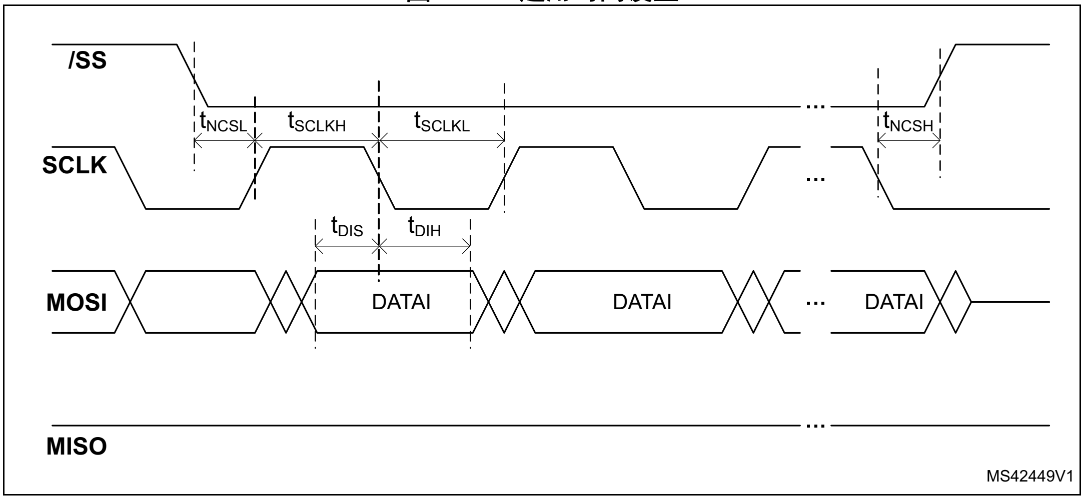
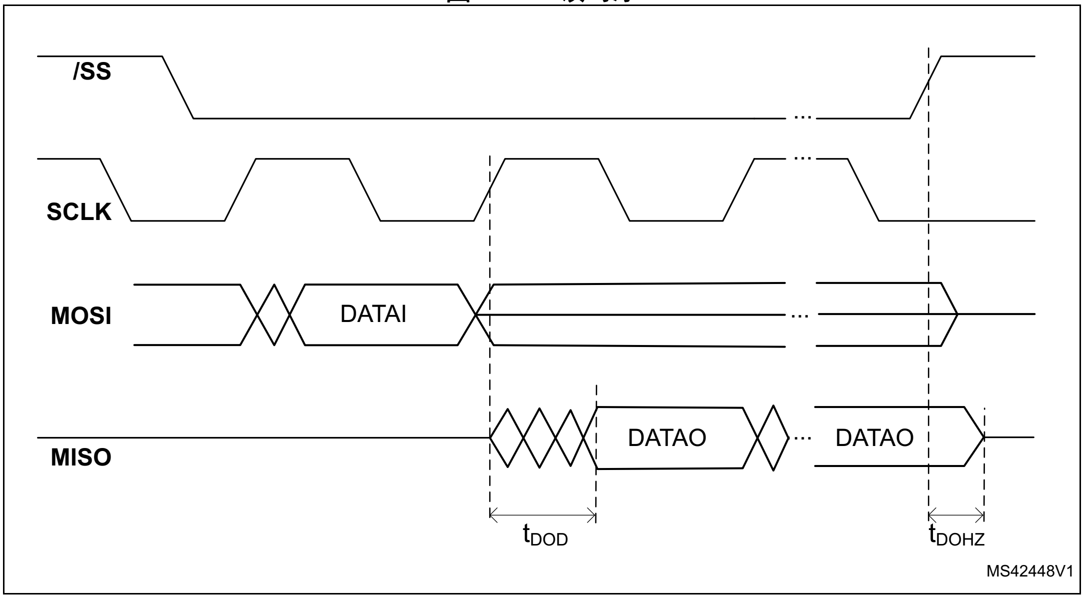


图18. SPI读时序



中断接口

ST25R3911B中实现了三个中断寄存器：*主中断寄存器*包含六个中断源的信息，而两个位所指的中断源在*定时器和NFC中断寄存器*和*错误和唤醒中断寄存器*中有详细说明。

满足中断条件时，中断源位在*主中断寄存器*中被置位，并且IRQ引脚变为高。

表8. IRQ输出

名称	信号	信号电平	说明
IRQ	数字输出	CMOS	中断输出针脚

随后微控制器读取*主中断寄存器*，来区分不同的中断源。中断寄存器0x17、0x18和0x19会被同时读取。一个特定的中断寄存器被读取后，其内容复位为0。此规则的例外情况是指向辅助寄存器的那些位。这些位仅在相应辅助寄存器被读取时才会清零。在使其转为高电平的中断位被读取之后，IRQ引脚转为低电平。

注： *如果在IRQ信号被置位并且发生了另一个引起中断的事件之后，微控制器没有立即读取中断寄存器，那么可能会有超过一个中断位被置位。这种情况下，引起中断的最后一位被读取之后，IRQ引脚转为低电平。*

如果来自某个源的中断不是所需要的，则可通过设置Mask Interrupt寄存器中的相应位来将其禁用。在屏蔽给定的中断源时，不会产生此中断，但是其中断源位仍然会在Interrupt寄存器中置位。

FIFO水位和FIFO状态寄存器

ST25R3911B包含了一个96字节的FIFO。发送时，控制逻辑会将先前由外部微控制器加载的数据移至Framing Block，并进一步传输至发送器。接收过程中，解调数据存储在FIFO中，外部微控制器可以在下一时刻下载所接收的数据。

由于存在FIFO水位中断系统，ST25R3911B的发送和接收性能不受FIFO空间大小限制。发送过程中，当FIFO中的数据内容从（水位+ 1）传递至水位且整个发送帧尚未载入到FIFO中时，发送一个中断（由*主中断寄存器*中的FIFO水位引起的*IRQ*）。此时外部微控制器可向FIFO中添加更多数据。对于接收是同样支持的：当接收的字节数从（水位 - 1）传递至水位时，发送一个中断来通知外部控制器：必须要从FIFO中下载数据，以免因FIFO溢出而丢失接收的数据。

发送过程中，如果发送字节尚未完全写入到FIFO中，或者写入到FIFO中的字节数低于水位时，则应额外将水位IRQ置位。这种情况下，当FIFO中的字节数低于4时，发送一个IRQ。

注： *当SPI激活为FIFO载入或读取模式时，不产生FIFO IRQ。因此，FIFO加载/读取速率必须高于Tx/Rx比特率，当FIFO加载/读取完成时，/SS引脚必须上拉至VDD（只要/SS仍为低电平，则其逻辑仍保持为FIFO加载/读取模式）。*

在控制器已知接收数据帧小于FIFO空间大小的情况下，不必提供水位中断。这种情况下，可以屏蔽水位中断。

外部控制器必须实现比数据发送或接收更快的FIFO。建议使用至少是实际接收或发送比特率两倍大小的SCLK频率。

对于*IO配置寄存器1*中的接收和发送，有两种可用的FIFO水位设置。

数据接收停止后，外部微控制器需要知道FIFO中还存储有多少数据：此信息可从*FIFO状态寄存器1*和*FIFO状态寄存器2*中得到，它们可显示FIFO中尚未被读取的字节数。还可在进行接收或发送过程时读取 *FIFO状态寄存器1*，以得到当前FIFO中的字节数。这种情况下，用户必须考虑到，Rx/Tx进程正在进行，而到寄存器读取结束时， FIFO中的数据字节数可能已经发生改变。

*FIFO状态寄存器2*另外还包括两个位，表示在接收或发送过程中FIFO未正确工作（FIFO上溢出和FIFO下溢出）。

当过多的数据写入FIFO中时，FIFO上溢出被置位。如果在接收过程中此位被置位，那么外部控制器未能及时响应到水位IRQ上，并且有超过96个字节被写入到FIFO中。这种情况下，所接收到的数据显然会被损坏。发送过程中，这意味着控制器已写入的数据超出了FIFO的空间大小。待发送的数据已被损坏。

从空的FIFO读取数据时，FIFO下溢出置位。如果接收过程中此位被置位，则外部控制器读取的数据量超过了实际接收的数据。发送过程中，这意味着控制器无法及时提供发送字节寄存器所定义的数据量。

引脚MCU_CLK

引脚MCU_CLK可用作外部微控制器的时钟源。根据操作模式，一个来自RC振荡器的低频时钟（32 kHz）或者一个

来自晶振的时钟信号可用于引脚MCU_CLK。MCU_CLK输出引脚由*IO配置寄存器1*中的位out_d1、out_cl0和lf_clk_off进行控制。在晶振运行的情况下，位out_cl使能引脚MCU_CLK用作时钟源，并定义其分频率（13.56 MHz，6.78 MHz和3.39 MHz可用）。在晶振不运行的情况下，位lf_clk_off控制使用低频时钟（32 kHz） 。默认配置下（上电时定义），选择3.39 MHz时钟并使能低频时钟。

Transparent模式下（见*第 1.2.22 节： Stream模式和Transparent模式*），由于外部控制器中，需要使用与场载波频率同步的时钟来实现接收和发送成帧，因此必须使用MCU_CLK。对于使用内部成帧的情况，也建议使用MCU_CLK。使用MCU_CLK作为微控制器时钟源会产生与读卡器载波频率同步的噪声，并因此会被接收器滤除，而使用其他的非相干时钟源产生的噪声会干扰接收。

使用MCU_CLK也更符合EMC要求。

1.2.13 直接命令

表9. 直接命令

命令码（十六进制）	命令	注释	命令链	中断	工作模式[1]
C1	Set Default	将ST25R3911B置于默认状态（与上电后相同）	无	无	全部
C2、C3	Clear	停止所有活动并清除FIFO	有	无	en
C4	Transmit With CRC	启动一个采用自动CRC生成的发送时序	有	无	en、tx_en
C5	Transmit Without CRC	启动发送时序，无自动CRC生成	有	无	en、tx_en
C6	Transmit REQA	发送REQA命令（仅限ISO14443A模式）	有	无	en、tx_en
C7	Transmit WUPA	发送WUPA命令（仅限ISO14443A模式）	有	无	en、tx_en
C8	NFC Initial Field ON	执行Initial RF Collision avoidance并开启场	有	有	en[2]
C9	NFC Response Field ON	执行Response RF Collision avoidance并开启场	有	有	en[2]
CA	NFC Response Field ON，并且n=0	执行Response RF Collision avoidance（n=0）并开启场	有	有	en[2]
Cb	Go to Normal NFC Mode	可用于NFCIP-1主动通信比特率检测模式	有	无	-
CC	Analog Preset	基于*模式定义寄存器*和*比特率定义寄存器*状态，预设Rx和Tx配置	有	无	全部
D0	Mask Receive Data	此命令之后忽略接收	有	无	en、rx_en
D1	Unmask Receive Data	此命令之后正常处理接收数据（此命令优先于内部Mask Receive定时器）	有	无	en、rx_en
D2	-	未使用	-	-	-
D3	Measure Amplitude	测量RFI输入上的信号幅度，结果存储在*A/D转换器输出寄存器* 中	无	有	en
D4	Squelch	根据当前噪声水平进行增益衰减	无	无	en、rx_en
D5	Reset Rx Gain	清除当前Squelch设置，并从*接收器配置寄存器1*加载手动增益衰减	无	无	en
D6	Adjust Regulators	根据当前供电电平调整电源稳压器	无	有	en[3]
D7	Calibrate Modulation Depth	启动激活Tx的时序，测量调制深度并对其进行调整使其符合指定调制深度	无	有	en
D8	Calibrate Antenna	启动调整连接至TRIMx_y引脚的并联电容的时序，使天线LC谐振腔处于共振状态	无	有	en

表9. 直接命令（续）

命令码（十六进制）	命令	注释	命令链	中断	工作模式[1]
D9	Measure Phase	对RFO和RFI上信号之间的相位差进行测量	无	有	en
DA	Clear RSSI	清除RSSI位并重新开始测量	有	无	en
DC	Transparent Mode	进入透传模式	无	有	en
DD	Calibrate Capacitive Sensor	校准电容传感器	无	有	见注释 [4]
DE	Measure Capacitance	执行电容传感器测量	无	有	见注释 [5]
DF	Measure Power Supply	-	无	有	en
E0	Start General Purpose Timer	-	有	无	en
E1	Start Wake-Up Timer	-	有	无	除wu外，均可
E2	Start Mask Receive Timer	-	有	无	见注释 [6]
E3	Start No-Response Timer	-	有	无	en、rx_en
FC	Test Access	使能 /W 来测试寄存器	有	无	全部
其他Fx	-	留作测试	-	-	-
其他代码	-	未使用	-	-	-

1. 定义*操作控制寄存器*的位，必须将其置位以接收特殊命令。
2. 此命令完成后，发送I_cat或I_cac IRQ。
3. 在*稳压器控制寄存器*中选择了外部定义稳压值的情况下（将位reg_s置为高电平），不允许使用此命令。
4. 如果*电容传感器显示寄存器*的位cs_mcal置为0，则可以用于所有模式。建议在掉电模式中使用此命令。
5. 允许用于所有模式，建议在掉电模式中使用此命令。
6. 仅可用于初始NFC主动目标通信模式。

Set Default

此直接命令将ST25R3911B置于与上电初始化相同的状态。将所有寄存器初始化为其默认状态。唯一例外情况是对于*IO配置寄存器1*、*IO配置寄存器2*和*操作控制寄存器*（不受Set Default命令影响），它们只会在上电时置为默认状态。

注： *不同校准和调整命令的结果也会丢失。*

此直接命令可允许用于所有工作模式。在en（*操作控制寄存器*的位7）未置位时发送此命令的情况下，FIFO和FIFO状态寄存器都不会被清零。

由于此命令会清除所有寄存器，因此不允许使用直接命令链。

不会产生由直接命令完成引起的IRQ。

Clear

此直接命令会停止所有当前的活动（发送或接收）， 清空FIFO，清除FIFO状态寄存器并停止除唤醒定时器之外的所有定时器（在*通用和无响应定时器控制寄存器*中位nrt_emv置为1时，No-Response定时器不停止）。它还会清除冲突和中断寄存器。向FIFO写入待发送的数据之前，必须在准备发送时序时首先发送此命令（直接命令Transmit REQA和Transmit WUPA的情形除外）。

en（*操作控制寄存器*的位7）置位并且晶体振荡器频率稳定的情况下，允许执行此命令。

直接命令链可用。

不会产生由直接命令完成引起的IRQ。

发送命令

所有发送命令（Transmit With CRC，Transmit Without CRC，Transmit REQA 和 Transmit WUPA）都只能在发射器使能的情况下使用（位tx_en置位）。

发送命令Transmit With CRC和Transmit Without CRC之前，必须发送直接命令Clear，之后定义发送字节数并向FIFO中写入数据。

直接命令TransmitREQA和TransmitWUPA分别用来发送ISO14443A命令REQA和WUPA。不需要在这两个命令之前发送命令 Clear。

在执行Transmit REQA 或 Transmit WUPA之前，最后一个字节中的有效位数必须置为0（*发送字节数寄存器2*中的nbtx<2:0>）。

直接命令链可用。

不会产生由直接命令完成引起的IRQ。

NFC Field ON命令

这些命令用来执行RF防冲突并在没有检测到冲突时开启场。*外部场检测阈值寄存器*中定义的防冲突阈值用来观测RF_IN输入，以及用来确定在靠近ST25R3911B天线处是否有其他设备发射13.56 MHz场。如果没有检测到冲突，则读卡器场自动开启（*操作控制寄存器*中的位tx_en置位），并在NFCIP-1标准定义的最小保护时间之后发送一个具有I_cat标志（在*定时器和NFC中断寄存器*中）的IRQ，来通知控制器可以开始使用Transmit命令进行消息发送。

在检测到有外部场存在的情况下，发送一个具有I_cac标志的IRQ。这种情况下，不能进行发送操作，如果不再检测到冲突，就必须重复NFC Field ON命令。命令 NFC Initial Field ON 执行符合NFCIP-1标准的Initial Collision Avoidance；数字n由*辅助定义寄存器*中的位nfc_n1和nfc_n0定义。

命令 NFC Response Field ON 执行符合NFCIP-1标准的Response Collision Avoidance；数字n由*辅助定义寄存器*中的位nfc_n1和nfc_n0定义。

n=0时命令NFC Response Field ON执行n为0的Response Collision Avoidance。

所实现的有效延迟时间在低NFCIP-1规范限制之下，因为实际的有效延迟时间还包括场失活的检测时间，控制器处理延迟和发送NFC Field ON命令的时间。

en（*操作控制寄存器*的位7）置位并且晶体振荡器频率和幅度均稳定的情况下，可允许执行此命令。

图19. 直接命令NFC Initial Field ON

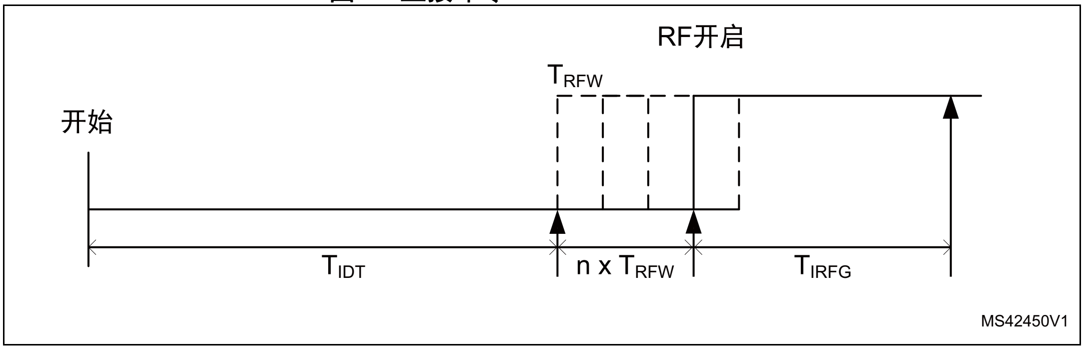


图20. 直接命令NFC Response Field ON

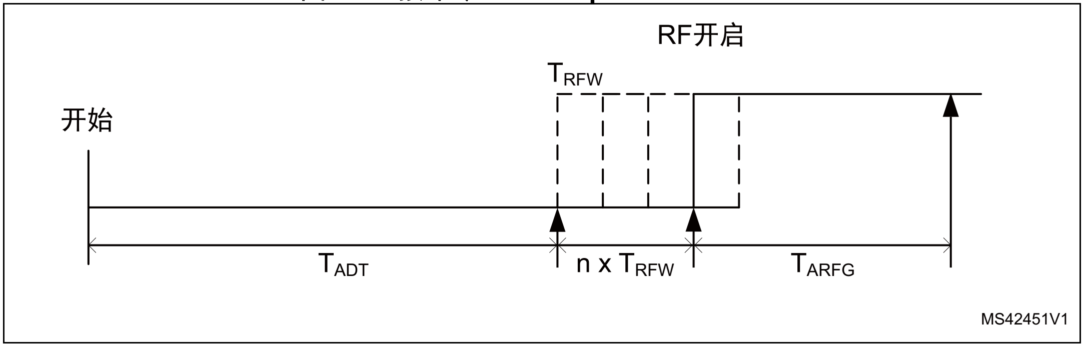


表10. NFC Field ON命令的时间参数

符号	参数	值	单位	注释
T_{IDT}	初始化延迟时间	4096	/fc	NFC Initial Field ON
T_{RFW}	RF等待时间	512		-
T_{IRFG}	初始化保护时间	>5	ms	NFC Initial Field ON
T_{ADT}	有效延迟时间	768	/fc	NFC Response Field ON
T_{ARFG}	有效保护时间	1024		

Go to Normal NFC Mode

此命令用于从NFC目标比特率检测模式转换为正常模式。另外，它会将*NFCIP比特率检测显示寄存器*中的内容复制到*比特率定义寄存器*中，并正确置位*辅助定义寄存器*中的位tr_am。

Analog Preset

此命令用来根据*模式定义寄存器*和*比特率定义寄存器*的状态预设接收器和发射器配置。在子载波比特流或BPSK比特流模式下，不应使用此命令。可预设的配置位列表在*表 11*中给出。

表11. 寄存器预设位

位	位名	功能
地址02h：*表 20：操作控制寄存器*		
5	rx_chn	**1**：一个通道使能→ NFCIP-1主动通信（发起方和目标方）
3	tx_en	**0**：禁用TX操作→ NFCIP-1主动通信（发起方和目标方）
注：在任意目标模式或NFCIP-1发起模式下，位**tx_en**置为0，来禁用已使能的发射器。NFCIP-1模式下，利用专门命令来控制发射器场的开启。		
地址05h：*表 26：ISO14443A和NFC 106kb/s设置寄存器*		
5	nfc_f0	**1**：在Tx过程中添加SB（F0）和LEN字节，Tx过程中跳过SB（F0）字节 → NFCIP-1主动通信（发起方和目标方）
地址09h：*表 34：辅助定义寄存器*		

表11. 寄存器预设位（续）

位	位名	功能
5	tr_am	Tx调制类型（取决于模式定义和Tx比特率） **0**：OOK→ISO144443A，NFCIP-1106kb/s（发起方和目标方），NFCForumType1 Tag **1**： AM → ISO144443B，FeliCa™，NFCIP-1 212 kb/s和424 kb/s
4	en_fd	使能具有Peer Detection threshold的External Field Detector **0**：所有模式，NFCIP-1主动通信除外 **1**：NFCIP-1主动通信（发起方和目标方）
地址0Ah：*表 35：接收器配置寄存器1*		
7	ch_sel	**0**：使能AM通道→ NFCIP-1主动通信（发起方和目标方）
6	amd_sel	AM解调器选择（取决于Rx比特率） **0**：峰值检测器→所有Rx均等于或低于fc/16（848 kb/s） **1**：混频器 →所有VHBR Rx比特率（fc/8和fc/4）
5	lp2	低通控制（取决于模式定义和Rx比特率），见*表 3：接收器滤波器选择和增益范围*
4	lp1	
3	lp0	
2	h200	第一和第三级零点设置（取决于模式定义和Rx比特率），见*表 3：接收器滤波器选择和增益范围*
1	h80	
0	z12k	
地址0Ch：*表 37：接收器配置寄存器3*		
1	lim	第1和第2级的限幅输出 **0**： 所有模式，NFCIP-1主动通信除外 **1**：NFCIP-1主动通信（发起方和目标方）
0	rg_nfc	设定第2和第3增益级的增益衰减 **0**： 所有模式，NFCIP-1主动通信除外 **1**：NFCIP-1主动通信（发起方和目标方）

Mask Receive Data和Unmask Receive Data

直接命令 Mask Receive Data 之后，使能接收器RSSI和AGC操作（见*第 1.1.2节： 接收器*）的信号强制置为低电平，禁止接收数据成帧模块对接收器输出进行处理。在实际上并无输入而是仅在处理噪声时，此命令可用来屏蔽接收器并停止接收成帧处理数据（例如从读卡器接收一个命令后，转发器处理时间很长的情况下）。利用Mask Receive定时器也可屏蔽接收。实际屏蔽是对两个屏蔽接收过程的逻辑或。

如果直接命令Unmask Receive Data正在对接收数据进行正常处理（将信号rx_on置为高电平来使能RSSI和AGC操作），则使能接收数据成帧模块。此命令的常见用途是在其被命令Mask Receive Data屏蔽后再次使能接收器操作。在接收到命令Unmask Receive Data时Mask Receive定时器正在运行的情况下，接收使能，Mask Receive定时器复位。

命令Mask Receive Data和Unmask Receive Data只在接收器使能时（位rx_en被置位）有效。

直接命令链可用。

不会产生由直接命令完成引起的IRQ。

Measure Amplitude

此命令测量RFI输入上的幅度，并将结果存储在*A/D转换器输出寄存器*中。

执行此命令时，发射器和幅度检测器使能，幅度检测器的输出复用到A/D转换器输入（A/D转换器处于绝对模式）。幅度检测器转换增益为0.6 V_{INPP}/ V_{OUT}。A/D转换器输出的一个LSB表示RFI输入上的13.02 mV_{pp}。一个3 V_{pp}的信号（两个RFI输入上所允许的最大电平），其结果为1.8 V输出DC电压，并在A/D转换器输出上产生1110 0110b的值。

持续时间：最大25 µs。

en（*操作控制寄存器*的位7）置位并且晶体振荡器频率稳定的情况下，可允许执行此命令。

直接命令链不可用。

终止命令执行后，会产生一个由直接命令完成而引起的IRQ。

Squelch

该直接命令用来避免转发器在数据处理过程中产生的大量噪声所引起的解调问题。它还可用于嘈杂环境。此命令的操作在*Squelch*中给出解释。

持续时间：最大500 µs。

此命令仅在发射器和接收器工作时有效。该命令实际上只在信号rx_on为低电平的情况下被执行。

直接命令链不可用。

不会产生由直接命令完成引起的IRQ。

Reset Rx Gain

此命令会初始化AGC、Squelch和RSSI模块。发送此命令会停止squelch进程（如果它正在执行），清除当前Squelch设置，并从*接收器配置寄存器4*中加载手动增益衰减。

en（*操作控制寄存器*的位7）置位并且晶体振荡器频率稳定的情况下，可允许执行此命令。

直接命令链可用。

不会产生由直接命令完成引起的IRQ。

Adjust Regulators

发送此命令时，电源电平V_{DD}在最大负载条件下进行测量，并将稳压参考值设置为比此测量电平低250 mV，以确保具有最大的稳定稳压电源（见*第 1.2.11 节： 电源供电系统*）。使用此命令会提高系统PSSR。

开始执行此命令时，接收器和发射器都会开启，电流消耗最大，稳压器被置为其最大稳压值（5 V供电下为5.1 V，3.3 V供电下为3.4 V）。300 µs之后， 如果V_{SP_RF}不比V_{DD}低至少250mV，则稳压器设置降低一个步长（5V供电下为120mV，3.3V供电下为100 mV），再过300 µs后测量完成。重复此过程，直至V_{SP_RF}降至低于V_{DD}至少250 mV，或直至达到最小稳压值（5 V供电下为3.9 V，3.3 V供电下为2.4 V）。

持续时间：最大5 ms。

如果en（*操作控制寄存器*的位7）置位并且晶体振荡器频率稳定，可执行此命令。

在*稳压器控制寄存器*中选择了外部定义的稳压值时（位reg_s置为H），不允许使用此命令。

直接命令链不可用。

终止命令执行后，会产生一个由直接命令完成而引起的IRQ。

Calibrate Modulation Depth

启动激活发送操作的时序，测量调制深度并对其进行调整使其符合*AM调制深度控制寄存器*中指定调制深度。校准过程完成时，其结果显示在同一个寄存器中。 参考*第 1.2.20 节： AM调制深度：定义和校准*获取关于AM调制深度设置和运行此命令的详细信息。

持续时间：最大275 µs。

当en（*操作控制寄存器*的位7）置位并且晶体振荡器频率稳定时，允许执行此命令。

直接命令链不可用。

终止命令执行后，会产生一个由直接命令完成而引起的IRQ。

Calibrate Antenna

发送此命令会启动调整连接至TRIMx_y引脚的并联电容的程序，使天线LC谐振腔处于共振状态。详细信息，请参见*第 1.2.21 节： 天线调谐*。

持续时间：最大250 µs。

当en（*操作控制寄存器*的位7）置位并且晶体振荡器频率稳定时，允许执行此命令。

Measure Phase

此命令测量RFO输出上信号与RFI输入上信号之间的相位差，并将结果存储在*操作控制寄存器*中。

执行直接命令Measure Phase的过程中，发射器和相位检测器使能，相位检测器输出复用到A/ D转换器（置为相对模式）的输入上。由于A/D转换器范围为1/6 VSP_A至5/6 VS_{P_A}，因此相位探测器的实际范围为 30º 至 150º。低于30º的值对应结果为FFh，而超出150º的值其结果为00h。A/D转换输出的一个LSB表示载波频率周期的0.13%（0.468°）。90º相移的情况下，A/D转换结果为其范围的中间值（1000 0000b或0111 1111b）。高于1000 0000b的值意味着相位探测器输出电压高于V_{SP_A}/2，对应于相移低于90º的情形。相反，当相移高于90º时，A/D转换结果低于0111 1111b。例如，*图 7*中显示的135º的相差带来的输出结果为0.75 V_{SP_A}，A/D转换器所存储的结果为31d（1Fh）。

可利用以下公式计算相位测量结果：

- 0º ≤ φ ≤ 30º：result = 255 （十进制）
- 30º < φ < 150º: angle (in º) = 30 + [(255 - u_angle) / 255) * 120]
- 150º ≤ φ ≤ 180º：result = 0（十进制）

持续时间：最大25 μs。

en（*操作控制寄存器*的位7）置位并且晶体振荡器频率稳定的情况下，允许执行此命令。

直接命令链不可用。

终止命令执行后，会产生一个由直接命令完成而引起的IRQ。

Clear RSSI

当信号rx_on被声明时，接收器自动清除*RSSI显示寄存器*中的RSSI位，并开始测量所接收信号的RSSI。由于RSSI位是存储峰值（峰值保持类型），因此不会随接收器输入信号而变化（这可能在长消息或测试过程中发生）。直接命令Clear RSSI会清除*RSSI显示寄存器*中的RSSI位，并重新开始RSSI测量（当然，是在rx_on仍然为高电平的情况下）。

en（*操作控制寄存器*的位7）置位并且晶体振荡器频率稳定的情况下，允许执行此命令。

直接命令链可用。

不会产生由直接命令完成引起的IRQ。

Transparent Mode

进入透明模式。在信号/SS的上升沿进入透明模式，并且只要信号/SS保持高电平，该模式就会保持。

当en（*操作控制寄存器*的位7）置位并且晶体振荡器频率稳定时，允许执行此命令。

Calibrate Capacitive Sensor

此命令校准电容传感器。请参见*第 1.1.5节： 电容传感器*以获得更多信息。

持续时间：最大3 ms。

电容传感器自动校准模式置位时（*电容传感器显示寄存器*中的所有位cs_mcal均置为0），执行此命令。为了避免晶体振荡器和读卡器场的干扰，强烈建议只在掉电模式下使用此命令。

直接命令链不可用。

终止命令执行后，会产生一个由直接命令完成而引起的IRQ。

Measure Capacitance

此命令执行电容测量。请参见*第 1.1.5节： 电容传感器*以获得更多信息。

持续时间：最大250 µs。

为了避免晶体振荡器和读卡器场的干扰，强烈建议只在掉电模式下使用此命令。

直接命令链不可用。

终止命令执行后，会产生一个由直接命令完成而引起的IRQ。

Measure Power Supply

此命令执行电源测量。*稳压器控制寄存器*的位mpsv1和mpsv0的配置定义了哪个电源被测量（VDD、VSP_A、VSP_D和VSP_RF可能被测量）。测量结果存储在*A/D转换器输出寄存器*中。

测量过程中，所选电源输入连接一个1/3电阻分压器上，绝对模式下其输出复用到A/D转换器。由于除以了3，因此一个LSB代表23.438 mV。

持续时间：最大25 µs。

en（*操作控制寄存器*的位7）置位并且晶体振荡器频率稳定的情况下，允许执行此命令。

直接命令链不可用。

终止命令执行后，会产生一个由直接命令完成而引起的IRQ。

1.2.14 启动定时器

请参见*第 1.2.7节：定时器第 25页*。

1.2.15 测试访问

ST25R3911B不包含专门的测试引脚。使用直接命令Test Access来对测试寄存器进行RW访问和进入不同测试模式。引脚CSI和CSO用作测试引脚。

测试模式进入和访问测试寄存器

测试寄存器不是正常SPI寄存器地址空间的一部分。发送直接命令Test Access后，可使用正常读/写寄存器SPI命令对测试寄存器进行访问。测试寄存器可以在链式命令时序下进行访问，其中首先发送一个命令Test Access，然后利用自动递增功能来对测试寄存器进行读/写访问。SPI接口复位后（SS切换），测试寄存器的内容会保持。

通过发送命令Set Default和Clear Test Registers，在上电时将测试寄存器置为默认状态。

表12. Analog Test 和 Observation Register

测试地址01h：Analog Test 和 Observation Register - 类型：RW				
位	**名称**	**默认**	**功能**	**注释**
7	tana_7	0	-	保留
6	tana_6	0	-	保留
5	tana_5	0	-	保留
4	-	0	未使用	-
3	tana_3	0	请参见*表 13*	这些测试模式也可用于正常模式下的观测。 当模拟测试模式未被置位时，也可使用此寄存器的其他模式。
2	tana_2	0		
1	tana_1	0		
0	tana_0	0		

表13. Test Access Register - CSI和CSO引脚 的Tana信号选择

Tana_				引脚CSI		引脚CSO		注释
3	**2**	**1**	**0**	**类型**	**功能**	**类型**	**功能**	
0	0	0	1	AO	AM通道的模拟输出（数字转换器之前）	DO	AM通道的数字输出（数字转换器之后）	正常工作
0	0	1	0	AO	PM通道的模拟输出（数字转换器之前）	DO	PM通道的数字输出（数字转换器之后）	正常工作
0	0	1	1	AO	AM通道的模拟输出（数字转换器之前）	AO	PM通道的模拟输出（数字转换器之前）	正常工作
0	1	0	0	DO	AM通道的数字输出（数字转换器之后）	DO	PM通道的数字输出（数字转换器之后）	正常工作
0	1	0	1	AO	第一级之后的模拟信号	AO	第二级之后的模拟信号	正常工作： – PM通道，如果它使能 – AM，如果PM未使能
1	0	0	1	DO	从逻辑模块进行通道选择	DO	防冲突探测器输出	防冲突探测器使能
1	0	1	0	DO	数字TX调制信号	DO	选择PM	通道选择的模拟部分

1.2.16 上电时序

上电时，ST25R3911B进入掉电模式。所有寄存器的内容均设置为其默认状态。

1. 上电后，微控制器必须正确配置两个IO配置寄存器。这两个寄存器的内容定义了硬件的工作选项（电源供电模式，晶体类型，使用MCU_CLK时钟，天线工作模式）。
2. 配置稳压器。建议使用直接命令Adjust Regulators来提高系统PSRR。
3. 进行LC谐振腔调谐时，发送直接命令Calibrate Antenna。
4. 使用AM调制时（例如ISO-14443B），设置*AM调制深度控制寄存器*中的调制深度并发送直接命令Calibrate Modulation Depth。
5. ST25R3911B 此时已准备进行工作。

1.2.17 读卡器操作

开始时，必须通过写入*模式定义寄存器*和*比特率定义寄存器*来配置操作模式和数据率。此外，必须定义与操作模式相关的接收器和发射器操作选项。这可以通过发送直接命令Analog Preset来自动完成。如果除这些由Analog Preset定义的选项之外，还需要更多选项，那么这些选项必须通过写入适当的寄存器来额外进行设置。

然后，通过将*操作控制寄存器*的位en置位，进入Ready模式。此模式下，振荡器启动，稳压器使能。当振荡器工作稳定时，发送一个中断。

在向转发器发送任何命令之前，发射器和接收器必须通过设置位rx_en和tx_en使能。RFID协议一般要求在发送第一个命令前，读卡器磁场已接通一段时间（对于ISO14443为5ms）。可使用通用定时器来为此计时。

如果必须发送REQA或WUPA，则可以简单通过发送适当的直接命令来完成，否则必须按以下时序进行：

1. 发送直接命令Clear
2. 定义*发送字节数寄存器1*和*发送字节数寄存器2*中的传输字节数
3. 向FIFO中写入待发送的字节
4. 发送直接命令Transmit With CRC或Transmit Without CRC（以适合者为准）
5. 当所有数据都被发送时，发送一个中断来通知微控制器发送已经完成（发送结束引起的IRQ）

发送执行完毕后，ST25R3911B接收器自动开始观测RFI输入，以检测转发器响应。RSSI和AGC（使能时）开始。成帧模块对来自接收器的子载波信号进行处理，并向FIFO中填充数据。当接收完成并且所有数据都在FIFO中时，向微控制器发送一个中断（接收结束引起的IRQ），另外*FIFO状态寄存器1*和*FIFO状态寄存器2*显示FIFO中的字节数，因此微控制器可以进行数据下载。

接收过程中检测到错误或位冲突的情况下，发送一个具有相应标志的中断。

数据包长于FIFO时进行发送和接收

在数据包长于FIFO的情况下，上述时序需要修改。

发送之前FIFO已填充满。发送过程中，当剩余字节数低于水位时，发送一个中断（FIFO水位引起的IRQ）。微控制器转而向FIFO中添加更多数据。当所有数据都被发送后，发送一个中断来通知微控制器发送已完成。

接收过程的情形类似。FIFO载入了超出接收水位的数据时，发送一个中断，并且微控制器转而从FIFO中读取数据。

当接收完成时，向微控制器发送一个中断（接收结束引起的IRQ），另外*FIFO状态寄存器1*和*FIFO状态寄存器2*显示FIFO中的仍待读取的字节数。

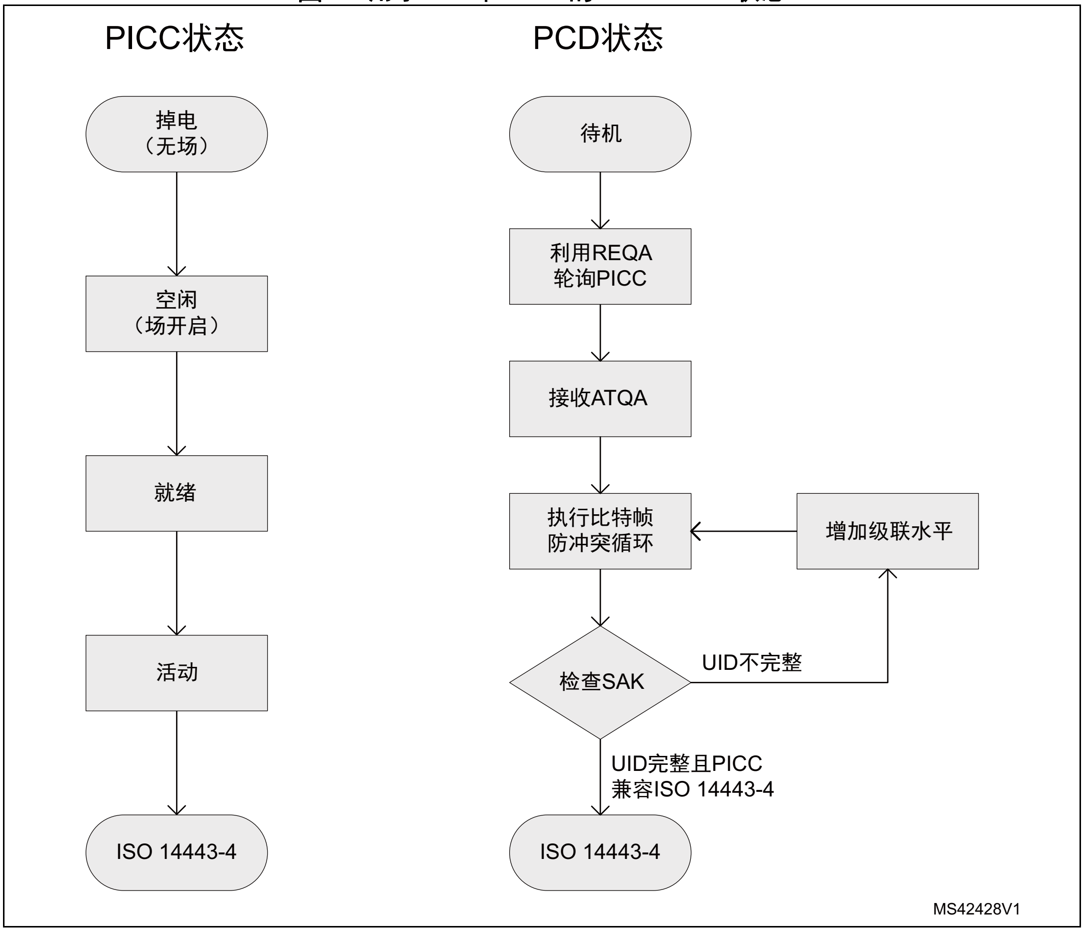
防冲突 – ISO 14443A

注： 本章节中，假设读卡器RF场中有超过一个ISO/IEC 14443A PICC，并且它们都可兼容至ISO/IEC 14443 level 4。

本章描述面向ISO14443A标签的ST25R3911B防冲突过程。ISO14443 type A标签进入读卡器场后，读卡器必须执行选择过程，使其进入PROTOCOL状态，此状态下可执行标签中所实现的实际应用。此选择过程在ISO/IEC 14443-3中有所描述。*图 21*显示了标签和读卡器进入协议状态之前所必须经过的状态。

当PICC进入读卡器场时选择过程开始，PCD发送一个REQA（或WUPA）命令之后进行防冲突进程（包括SELECT、RATS和PPS）。

图21. 用于PCD和PICC的ISO14443A状态



设置ST25R3911B实现ISO 14443A防冲突

要设置ST25R3911B实现ISO14443A防冲突，请按照以下所指示的步骤。

1. 发起方ST25R3911B的操作模式必须在*模式定义寄存器*中针对ISO 14443A而设置（默认设置时已经可用于ISO14443A）。
2. Tx和Rx比特率必须在*比特率定义寄存器*中设为默认值（106 kbps）。
3. 设置*ISO14443A和NFC 106kb/s设置寄存器*中的antcl位。这需要在发送REQA（或WUPA）之前进行设置。因此，在ATQA或防冲突过程中发生冲突的情况下，ST25R3911B不会触发成帧错误。

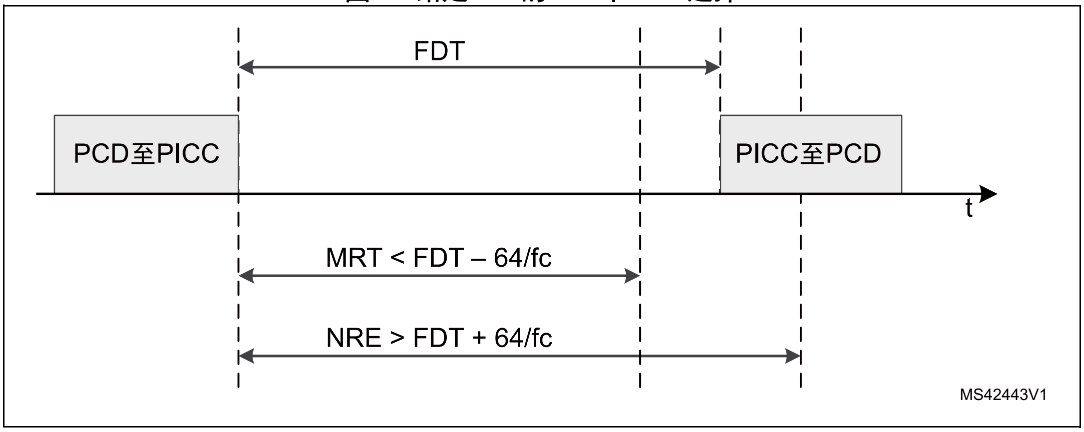
注： *对于REQA、WUPA和ANTOCOLLISION命令，此位必须设置为1，对于其他命令则必须设置为0。*

4. 根据ISO14443A要求，查看并设置*屏蔽接收定时器寄存器*的值，使其低于帧延迟时间，并按照要求设置*无响应定时器寄存器1*和*无响应定时器寄存器2*。通常它大于FDT。

注： *相比于ISO 14443A中所提的n（128/fc），ST25R3911B提供了n/2（64/fc - 半步长）的精度，因此从PICC进行实际发送之前n/2步长时间内，接收器不被屏蔽。*

5. 根据ISO 14443A，如果上一发送位为1，则FDT必须为1236/fc，如果上一发送位为0，则FDT必须为1172/fc。*图 22*显示了对于给定FDT如何设置MRT和NRT定时器的示例。

图22. 给定FDT的MRT和NRT选择



6. 必须定义与操作模式相关的接收器和发射器操作选项。这可以通过发送直接命令Analog Preset来自动完成。如果除这些由Analog Preset定义的选项之外，还需要更多选项，那么这些选项必须通过写入适当的寄存器来额外进行设置。
7. 设置*操作控制寄存器*中的rx_en和tx_en。RFID协议一般要求在发送第一个命令前，读卡器场已接通一段时间（对于ISO14443为5 ms）。可使用通用定时器来为此计时。
8. 对于REQA、WUPA的PICC应答，以及SAK之前的防冲突过程中的应答都不包含CRC。这种情况下，发送这些命令之前，*辅助定义寄存器*中的no_CRC_rx位必须置为1（无CRC接收）。

REQA和WUPA

由于这两个命令可作为直接命令（TransmitREQA和TransmitWUPA）来执行，因此可以很容易地发送它们。这些命令发送结束后，向微控制器发出一个中断信号（发送结束引起的IRQ）。发送执行完毕后，ST25R3911B接收器在MaskReceive定时器终止之后，自动开始观测RFI输入，以检测转发器响应。

作为对REQA（或WUPA）的响应，场中所有PICC都同时响应一个ATQA。如果PICC具有不同的UID大小或者帧防冲突位设置不同，则此状态下会产生一个冲突。因此将antcl位设置为1很重要。如果有任何IRQ（I_nre除外），那么微控制器必须将ST25R3911B的这个中断视为有效标签存在的信号，并继续执行防冲突过程。

如果预计场中有超过一个PICC，那么必须使用以下算法来选择多个标签：

1. 发送REQA，如果仍有应答在继续进行
2. 执行防冲突，选择一个PICC
3. 发送HLTA，使所选PICC转移到HALT状态
4. 进入步骤1，重复此过程，直至所有PICC都进入HALT状态并且所有UID都已被抽取。

防冲突过程

从场中标签接收到ATQA后，下一步是执行防冲突过程来解出标签ID。

该程序主要使用ANTICOLLISION和SELECT命令，包括：

- 选择码SEL（1字节）
- NVB有效位数（1字节）
- 0至40的UID CLn数据位，取决于NVB值

ANTICOLLISION命令使用位定向防冲突帧（不使用CRC）。这种情况下，需要利用直接命令Transmit Without CRC来完成发送，对于接收，*辅助定义寄存器*中no_CRC_rx位必须置为1。最后的SELECT命令及其相应SAK包含一个CRC，因此需要利用命令Transmit With CRC来完成发送，并且在发送此命令之前，*辅助定义寄存器*中的配置位no_CRC_rx位必须重设回0。

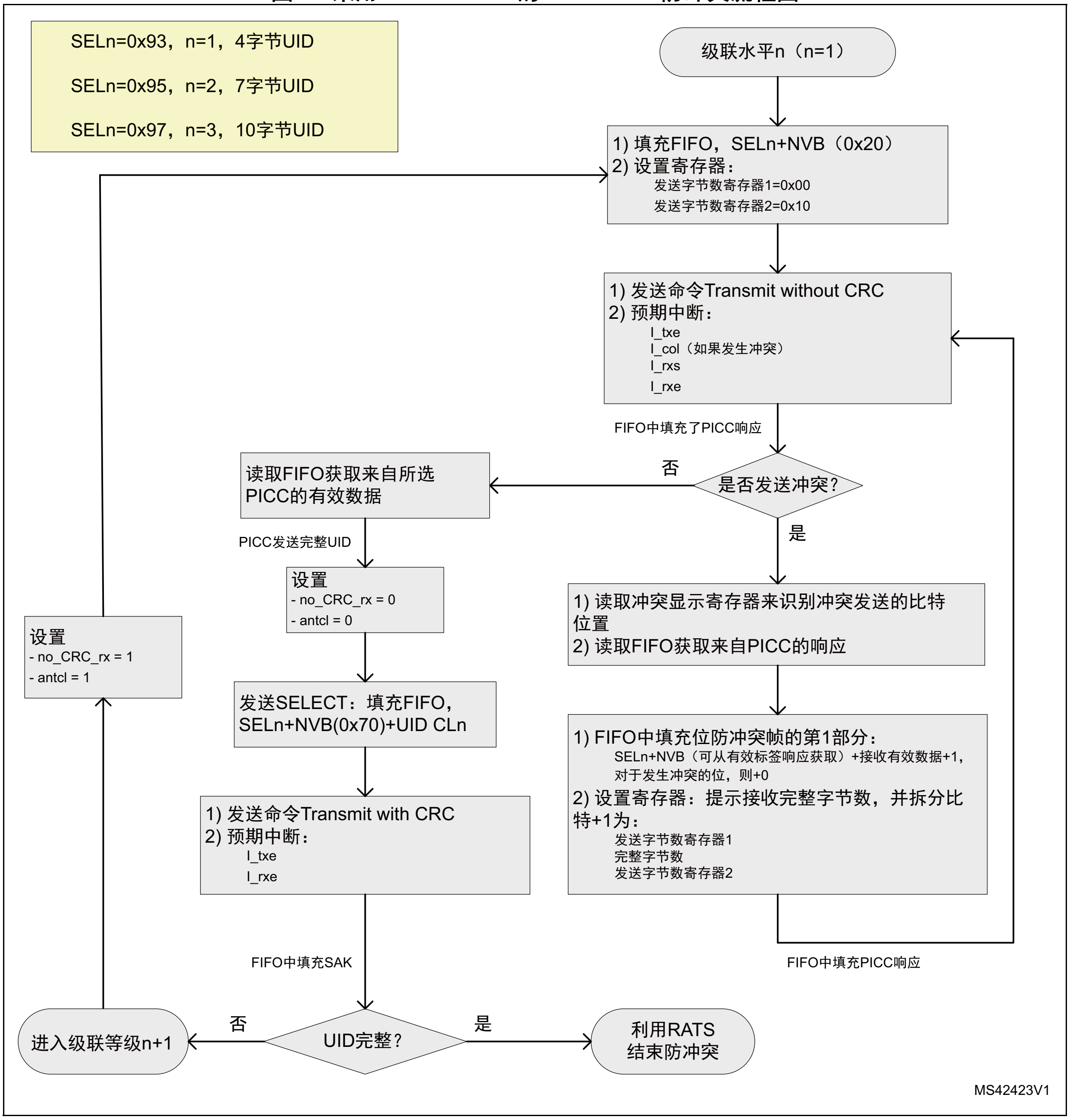
如果场中有超过一个PICC，那么在防冲突过程中当标签响应ANTICOLLISION命令时，会发生冲突，此时PICC回复以其UID。该冲突可能发生在一个完整字节之后（完整字节方案），也可能发生在一个字节之间（拆分字节方案）。*ISO14443A和NFC 106kb/s设置寄存器*中的antcl位也必须在此程序中进行置位。因此，ST25R3911B不会触发成帧错误。该位还负责实现正确的防冲突时间和正确的奇偶校验抽取。

注： *它必须且只能在发送防冲突帧（REQA或WUPA）之前置位。该位不能用于任何其他命令。*

*图 23*显示了如何利用ST25R3911B实现防冲突。

由于SPI是以字节为单位传输的，因此在拆分字节方案的情况下，从FIFO读取所接收数据时，必须忽略无效的MSB位。类似地，0数字串作为MSB位将一个字节填充完整，用来进行发送（根据寄存器0x1E，随后会被忽略）。

图23. 采用ST25R3911B的ISO14443A防冲突流程图



1.2.18 FeliCa™ 读卡器模式

*第 1.2.17节： 读卡器操作*给出的通用建议对于FeliCa™读卡器模式也是有效的。可支持212和424 kb/s的比特率（读卡器到标签，标签到读卡器）。读卡器到标签的调制是幅度调制。

FeliCa™模式下，支持FeliCa™帧格式（见*图 24*）。

图24. FeliCa™帧格式

Preamble	SYNC	Length	Payload	CRC

Preamble：48位前导码，均为逻辑0

Sync：2个字节（B2h，4Dh）

Length：长度字节（值=有效负载长度+1），长度范围为2至255

Payload：有效负载

CRC：2个字节

FeliCa™发送

要发送FeliCa™帧，只需将Payload数据载入FIFO中。Payload字节数在*发送字节数寄存器1*和*发送字节数寄存器2*中定义。前导码长度由*ISO14443B和FeliCa设置寄存器*中的位f_p1和f_p0来定义，默认值是48位，但是也可以选择其他值。

发送由直接命令Transmit With CRC所触发。发送第一个前导码，随后发送SYNC和Length字节。然后发送存储在FIFO中的Payload，发送可由两个CRC字节（利用ST25R3911B计算所得）来终止。Length字节由“发送的字节数”计算得出。使用以下等式：

长度 = 有效负载长度 + 1 = 发送字节数 +1

FeliCa™接收

完成发送后，ST25R3911B逻辑开始解析接收器输出，以检测FeliCa™标签响应的前导码。

检测到前导码时（其后是两个SYNC字节），Length字节和Payload数据进入FIFO。对CRC字节进行内部检查。

1.2.19 NFCIP-1 操作

ST25R3911B可支持 所有的NFCIP-1发起模式和主动通信目标模式。所有NFCIP-1比特率（106，212和424 kbit/s）均可支持。

NFCIP-1被动通信发起方

NFCIP-1被动通信等效于读卡器（PCD）到标签（PICC）的通信，这里发起方为读卡器，而目标方为标签。唯一区别是，NFCIP-1被动通信的情况下，发起方在通信开始时执行初始RF防冲突过程。

要作为NFCIP-1被动通信发起方，ST25R3911B必须按照*表 14*进行配置。

表14. NFCIP-1被动通信的操作模式/比特率设置

NFCIP-1比特率（kb/s）	工作模式设置	比特率对于Tx（kb/s）	比特率对于Rx（kb/s）	注释
106	ISO14443A	fc/128（~106）	fc/128（~106）	-
212	FeliCa™	fc/64（~212）	-	FeliCa Mode下，两个方向的数据速率相同
424		fc/32（~424）	-	

在通信开始前*操作控制寄存器*的初始设置与读卡器-标签通信的情形是相同的，例外之处是，发射器不是通过设置tx_en位来使能。而是发送直接命令NFC Initial Field ON。

此命令首先执行初始RF防冲突，其防冲突阈值在*外部场检测阈值寄存器*中定义。防冲突时间是根据NFCIP-1标准（关于此时间的详细内容，见*表 10：NFC Field ON命令的时间参数*）。未检测到冲突的情况下，tx_en位自动设置为开启发送。最小保护时间T_{IRFG}后，发送I_cat IRQ来通知控制器，可以发送第一个发起方命令。

从此开始的通信与ISO14443A（针对106 kb/s）或FeliCa™（针对242和424 kb/s）读卡器通信是相同的。

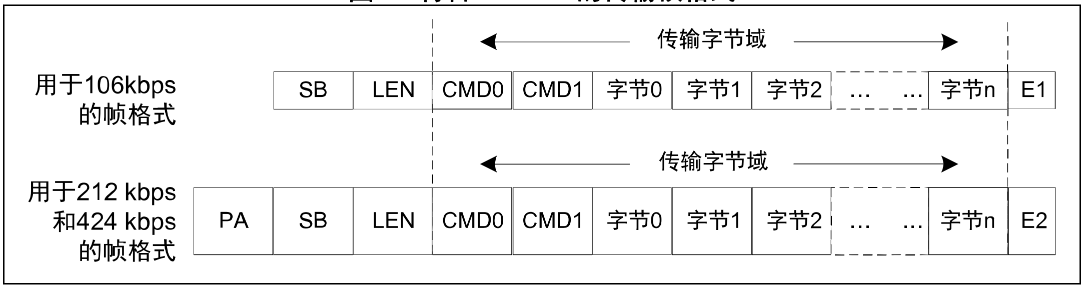
在检测到有外部场存在的情况下，发送一个I_cac IRQ。这种情况下，不能进行发送操作，必须重复NFC Field ON命令，直至不再检测到冲突。

初始防冲突不限于NFCIP-1所支持的模式。可以在开始读卡器模式前，根据上述程序执行初始防冲突，以避免与HF读卡器或近距离操作的NFC设备的冲突。

支持NFCIP-1 Transport Frame格式

*图 25*显示了符合NFCIP-1的传输帧。

图25. 符合NFCIP-1的传输帧格式



比特率为212和424 kb/s的传输帧与初始化和SDD过程中所用的通信帧具有相同的格式。该格式还可用于FeliCa™协议（也见于*第 1.2.18节： FeliCa™ 读卡器模式*）。106 kb/s的情况下，SB（起始字节，在F0h）和LEN（长度字节）仅用于传输帧中。

通过设置*ISO14443A和NFC 106kb/s设置寄存器*中的nfc_f0位，传输帧可支持106 kb/s NFCIP-1通信。

当此位被置位，并且ISO 14443A模式配置为106 kb/s，则ST25R3911B 特性如下一小节所示。

发送

要发送一个传输帧，只需将Transport Data载入FIFO中。传输数据字节数在*发送字节数寄存器1*和*发送字节数寄存器2*中定义。发送由直接命令Transmit With CRC所触发。发送第一个起始字节，随后发送Length字节。然后发送存储在FIFO中的Transport Data，发送可由两个CRC字节（*图 25*中的E1，利用ST25R3911B计算所得）来终止。Length字节由“发送的字节数”计算得出。使用以下等式：

长度 = Transport Data长度 + 1 = 所发送字节数 +1

接收

完成发送后，ST25R3911B逻辑开始解析接收器输出，以检测标签响应的起始字节。

检测到通信序列开始时，检查第一个字节（Start Byte，其值为F0h），Length字节和Transport Data字节载入FIFO中。对CRC字节进行内部检查。Start字节不等于F0h的情况下，随后的数据字节仍然会载入FIFO中，此外，软帧错误IRQ被设置为指示Start Byte错误。

NFCIP-1主动通信发起方

NFCIP-1主动通信过程中，发起方和目标方均在发送时开启场，在接收时关闭场。要作为NFCIP-1主动通信发起方，ST25R3911B必须按照*表 15*（*模式定义寄存器* 中的targ位必须置为0）进行配置：

表15. NFCIP-1主动通信发起方的操作模式/比特率设置

NFCIP-1比特率（kb/s）	发起方工作模式设置	比特率对于Tx（kb/s）	比特率对于Rx（kb/s）	注释
106	NFCIP-1主动通信	fc/128（~106）	-	数据率是相同的在两个方向上对于所有的NFCIP-1通信。
212		fc/64（~212）	-	
424		fc/32（~424）	-	

选择NFCIP-1主动通信模式后，接收器和发射器必须正确配置。该配置可通过发送直接命令Analog Preset来自动完成（见*Analog Preset*）。

NFCIP-1主动通信过程中，利用NFC Field ON命令来实现RF防冲突和开启场（见*NFC Field ON命令*），读卡器通信时则利用Transmit命令来发送消息。或者，在*模式定义寄存器*中位nfc_ar被置位的情况下，检测到目标场关闭时，自动开始Response RF Collision Avoidance时序。

当NFCIP-1模式被激活时，通过设置*辅助显示寄存器*中的位en_fd，External Field Detector自动使能。Peer Detection Threshold用来检测目标场。执行“NFC Field ON”命令时，使用Collision Avoidance Threshold。

在通信开始前*操作控制寄存器*的初始设置与读卡器-标签通信的情形是相同的，例外之处是，发射器不是通过设置tx_en位来使能。tx_en位由NFC Field ON命令控制，因而发射器开启也由NFC Field ON命令控制。消息发送完成后，场自动关闭。*通用和无响应定时器控制寄存器*用来定义发送消息之后，场保持开启的时间。

要接收NFCIP-1主动应答，只需使用AM解调通道。因此接收器AM通道必须使能。利用Analog Preset 命令完成的预设仅使能AM解调通道，而PM是禁用的，以节省电流消耗。

NFCIP-1主动通信下，始终使用NFCIP-1Transport Frame格式（见 *图 25*）。因此，应利用Analog Preset命令来设置*ISO14443A和NFC 106kb/s设置寄存器*位nfc_f0（见*支持NFCIP-1 Transport Frame格式*）。

NFCIP-1主动通信时序，当*模式定义寄存器*中的位nfc_ar被置位（自动Response RF Collision Avoidance时序）。此时序期间中，*辅助定义寄存器*的位nfc_n1和nfc_n0必须为0，以产生n=0的Response Collision Avoidance序列：

1. 发送直接命令NFC Initial Field ON。未检测到冲突时，在RF防冲突过程中，场开启，并在T_{IRFG}时间之后发送一个IRQ（其I_cat标志置位）到控制器。
2. 在读卡器-标签通信中预设的消息利用Transmit命令进行发送。
3. 消息发送之后，场关闭。消息结束和场开启之间的时间由General Purpose定时器来定义（由于控制器不需此信息，因此General Purpose定时器IRQ可能被屏蔽）。
4. 关闭其场后，ST25R3911B开启No-Response定时器，并观测External Field Detector输出，以检测目标场是否开启。在No-Response定时器超时之前未检测到目标场的情况下，发送一个因No-Response定时器过期而引起的IRQ。
5. 检测到Target场时，发送一个I_eon标志置位的IRQ到控制器，并开始Mask Receive定时器。Mask Receive Timer到期后，检测到目标响应开始时，对接收器输出进行观测。读卡器-标签通信的情况下，进行接收过程。
6. 当External Field Detector检测到目标方已关闭其场，会发送一个I_eof标志置位的IRQ到控制器，并且在位nfc_ar置位的情况下，会自动激活直接命令NFC Response Field ON的时序。RF防冲突过程中未检测到冲突时，该场开启，并在T_{ARFG}时间之后发送一个I_cat标志置位的IRQ到控制器。
7. 通过第2点的时序循环。如果在下一时序中最后一个发起方命令已发送（NFCIP-1协议下为DLS_REQ），则*模式定义寄存器*中的位nfc_ar必须置为0，以防止发起方场在目标方关闭后开启。

NFCIP-1主动通信目标方

通过将*模式定义寄存器*中的位targ置为1，激活ST25R3911B目标模式。当目标模式被激活时，通过设置*辅助定义寄存器*中的位en_fd，External Field Detector自动使能。

当位targ置位，且*操作控制寄存器*的所有位都置为0时，ST25R3911B 处于低功耗Initial NFC Target Mode。

此模式下，具有Peer Detection Threshold的External Field Detector使能。

可实现两种不同的NFC目标模式（由*模式定义寄存器*中的模式位定义）：比特率检测模式和正常模式。比特率检测模式下，成帧逻辑对发起方数据率进行自动检测，并将其写入*NFCIP比特率检测显示寄存器*中。正常模式下，假设使用*比特率定义寄存器*中所定义的数据率。

选择NFCIP-1主动目标模式后，接收器和发射器必须正确配置。其配置与NFCIP-1主动发起模式相同。该配置可通过发送直接命令Analog Preset来自动完成（见Analog Preset）。

NFCIP-1主动通信时序，当*模式定义寄存器*中的位nfc_ar被置位（自动Response RF Collision Avoidance时序）。此时序期间中，*辅助定义寄存器*的位nfc_n1和nfc_n0必须为0，以产生n=0的Response Collision Avoidance。

以下时序假定ST25R3911B 处于低功耗Initial NFC Target Mode，并选择了比特率检测模式。*模式定义寄存器*中的位nfc_ar被置位（自动Response RF Collision Avoidance时序）。检测到发起方场时，执行以下进程：

1. 发送一个I_eon标志置位的IRQ到控制器。
2. 控制器开启振荡器、稳压器和接收器。通过发送直接命令Start Mask Receive Timer，启动Mask Receive定时器。Mask Receive Timer失效后，开始观测接收器输出，以检测发起方消息是否开始。
3. 检测到发起方消息开始时，发送一个由接收开始引起的IRQ，成帧逻辑开启一个模块，自动识别发起方发送信号的比特率。识别出比特率后，发送一个I_nfct标志置位的IRQ，比特率自动载入到*NFCIP比特率检测显示寄存器*。比特率检测也是自动Response RF Collision Avoidance时序使能的条件。接收的数据被解码，并存入FIFO中，在任意接收消息之后，发送IRQ。
4. 控制器发送直接命令Go to Normal NFC Mode，将*NFCIP比特率检测显示寄存器*的内容复制到*比特率定义寄存器*中，并将NFCIP-1目标模式更改为正常模式（命令Go To Normal Mode和读取接收数据可链式执行）。由于Tx调制类型取决于比特率，因此这里还必须正确设置Tx调制类型。
5. 当External Field Detector检测到目标方已关闭其场，会发送一个I_eof标志置位的IRQ到控制器，并且在位nfc_ar置位的情况下，会自动激活直接命令NFC Response Field ON的时序。*辅助定义寄存器*的位nfc_n1和nfc_n0用来定义Response RF Collision Avoidance时序的数字n。未检测到冲突时，在RF防冲突过程中，场开启，并在T_{ARFG}时间之后发送一个IRQ（其I_cat标志置位）到控制器。

6. 在读卡器-标签通信中预设的应答利用Transmit命令进行发送。
7. 消息发送之后，场关闭。消息结束和场开启之间的时间在General Purpose定时器中定义（由于控制器不需此信息，因此General Purpose定时器IRQ可能被屏蔽）。

从此开始，发起方循环通信通过以下时序进行（此时序期间，*辅助定义寄存器*的位nfc_n1和nfc_n0必须置为0，以产生n=0的Response RF Collision Avoidance）：

1. 关闭其场后，ST25R3911B开启 No-Response定时器，并观测External Field Detector输出，以检测发起方场是否开启。在No-Response定时器超时之前未检测到发起方场的情况下，发送一个因No-Response定时器过期而引起的IRQ。
2. 检测到发起方场时，发送一个I_eon标志置位的IRQ到控制器，并开始Mask Receive定时器。Mask Receive Timer到期后，检测到发起发响应开始时，对接收器输出进行观测。读卡器-标签通信的情况下，进行接收过程。
3. 当External Field Detector检测到目标方已关闭其场，会发送一个I_eof标志置位的IRQ到控制器，并且在位nfc_ar置位的情况下，会自动激活直接命令NFC Response Field ON的时序。RF防冲突过程中未检测到冲突时，该场开启，并在T_{ARFG}时间之后发送一个I_cat标志置位的IRQ到控制器。
4. 在读卡器-标签通信中预设的应答利用Transmit命令进行发送。
5. 消息发送之后，场关闭。消息结束和场关闭之间的时间在General Purpose定时器中定义。如果想要得到来自发起方的新命令，则可以屏蔽General Purpose定时器IRQ，因为控制器不需要此信息。
6. 如果需要来自发起方的新命令，则时序循环通过第1点。如果目标应答是时序中的最后一个（NFCIP-1协议的情况下为DLS_RES），则不需要来自发起方的新命令。
   场关闭时，接收到一个General Purpose定时器IRQ，通过禁用*操作控制寄存器*，ST25R3911B会重新处于低功耗NFCTargetMode。通过写*模式定义寄存器*，可将NFC模式改回速率检测模式。

1.2.20 AM调制深度：定义和校准

ST25R3911B发射器支持OOK和AM调制。

通过写*辅助定义寄存器*中的位tr_am，可对OOK和AM调制进行选择。如果配置了以下协议，则可利用直接命令Analog Preset来预设AM调制：

- ISO14443B
- FeliCa™
- NFCIP-1 212和424 kb/s

通过设置*AM调制深度控制寄存器*并发送直接命令Calibrate Modulation Depth，可自动调整AM调制深度。还有一种可能的替代选择，其中不使用命令Calibrate Modulation Depth，而通过写Antenna驱动器*RFO AM调制电平定义寄存器*来定义调制水平。

使用直接命令Calibrate Modulation Depth实现AM调制深度定义

发送直接命令Calibrate Modulation Depth之前，*AM调制深度控制寄存器*必须按以下方式进行配置：

- 位7（am_s）必须设为0，以利用命令Calibrate Modulation Depth来选择定义
- 位6至1（mod5至mod0）定义目标方AM调制深度

使用位mod5至mod0实现调制定义

RFID标准文件通常以调制指数来定义AM调制水平。调制指数定义为（a-b）/（a+b），其中a和b分别为无调制载波幅度和调制载波幅度。

不同标准的调制指数规范不同。ISO-14443B调制指数通常为10%，其允许范围为8%至14%，而ISO-15693中定义的范围为10%至30%，FeliCa™和NFCIP-1 212 kb/s和424 kb/s中范围为8%至30%。

位mod5至mod0用来计算调制电平的幅度。未调制信号电平先前由A/D转换器进行测量，并存入8位寄存器中，该电平除以一个1至1.98范围内的二进制数。位mod5至mod0定义此数字的二进制小数。

示例

调制系数为10%时，调制电平幅度比未调制电平低了1.2222倍。

1.2222转换为二进制并截断为6位小数是1.001110。所以为了定义调制指数10%，位mod5至mod0必须设置为001110。

*表 16*显示了一些常用调制指数的mod位设置。

表16. 设置mod位

调制指数（%）	a/b（dec）	a/b（bin）	mod5 … mod0
8	1.1739	1.001011	001011
10	1.2222	1.001110	001110
14	1.3256	1.010100	010100
20	1.5000	1.100000	100000
30	1.8571	1.110111	110111
33	1.9843	1.111111	111111

执行直接命令Calibrate Modulation Depth

增加RFO1和RFO2驱动器输出电阻，可调整调制电平。RFO驱动器由8个二进制加权段组成。通常这些段都是开启的，以定义正常电平、未调制电平，也可以通过写*RFO正常电平定义寄存器*来增加未调制状态的输出电阻。

发送直接命令Calibrate Modulation Depth之前，振荡器和稳压器必须开启。发送直接命令Calibrate Modulation Depth时，执行以下步骤：

1. 接通发射器，建立未调制信号电平。
2. 输入RFI1和RFI2上建立的未调制载波信号电平幅度由A/D转换器进行测量，并存储在*A/D转换器输出寄存器*中。
3. 基于未调制信号电平测量结果和位mod5至mod0定义的目标方调制信号电平，对目标方调制信号电平进行计算。
4. 使用逐次逼近算法调整输出的驱动器信号强度，直至场强度尽可能接近所计算的目标方调制信号电平。
5. 输出驱动器强度调整结果复制到*AM调制深度显示寄存器*中。此寄存器内容用来定义AM调制电平。

注： *校准过程完成后，不应再改变RFO正常电平定义寄存器*的内容。修改此寄存器内容会改变未调制信号的幅度，因而会改变调制和未调制信号电平之比。

注： *使用天线谐振频率校准的情况下，必须在AM调制深度调整之前运行命令Calibrate Antenna。*

AM调制深度定义使用RFO AM Modulated Level Definition Register

当*AM调制深度控制寄存器*的位7（am_s）被置为1时，可通过写入*RFO正常电平定义寄存器*来控制AM调制电平。如果已知调制电平设置，则不必运行校准程序，只需写入此寄存器即可定义调制信号电平。

还可以通过外部控制器使用*RFO正常电平定义寄存器*，以及直接命令Measure Amplitude来执行校准程序。当目标调制深度超过33%时，必须使用此过程。

过程如下：

1. 将未调制电平写入*RFO正常电平定义寄存器*（通常它是全0的，以使输出电阻尽可能低）。
2. 接通发射器。
3. 发送直接命令Measure Amplitude。从*A/D转换器输出寄存器*读取结果。
4. 根据目标方调制指数和前一点的结果来计算目标方调制电平。
5. 在以下迭代中，修改*RFO正常电平定义寄存器*的内容，执行命令Measure Amplitude，将结果与目标调制电平进行比较，只要该结果不同于（或者尽可能接近）目标调制电平，就继续进行迭代。

6. 最后，*RFO正常电平定义寄存器*的内容是目标调制电平并写入*RFO AM调制电平定义寄存器*中，而*RFO正常电平定义寄存器*恢复为未调制定义值。

1.2.21 天线调谐

ST25R3911B集成了一些模块，需要用其来检查和调整天线LC谐振回路谐振频率。相位和幅度探测器模块用来进行谐振频率检查和调整。

要实现天线LC谐振回路校准，调谐电容必须连接到两个线圈端子之间的引脚TRIM1_3至TRIM1_0，以及TRIM2_3至TRIM2_0。使用单侧驱动器时，仅使用引脚TRIM1_3至TRIM1_0，引脚TRIM2_3至TRIM2_0悬空。*图 26*显示了天线LC谐振回路直接连接到RFO引脚的简单情形下单侧（左侧）和差分（右侧）驱动的微调电容连接方式。

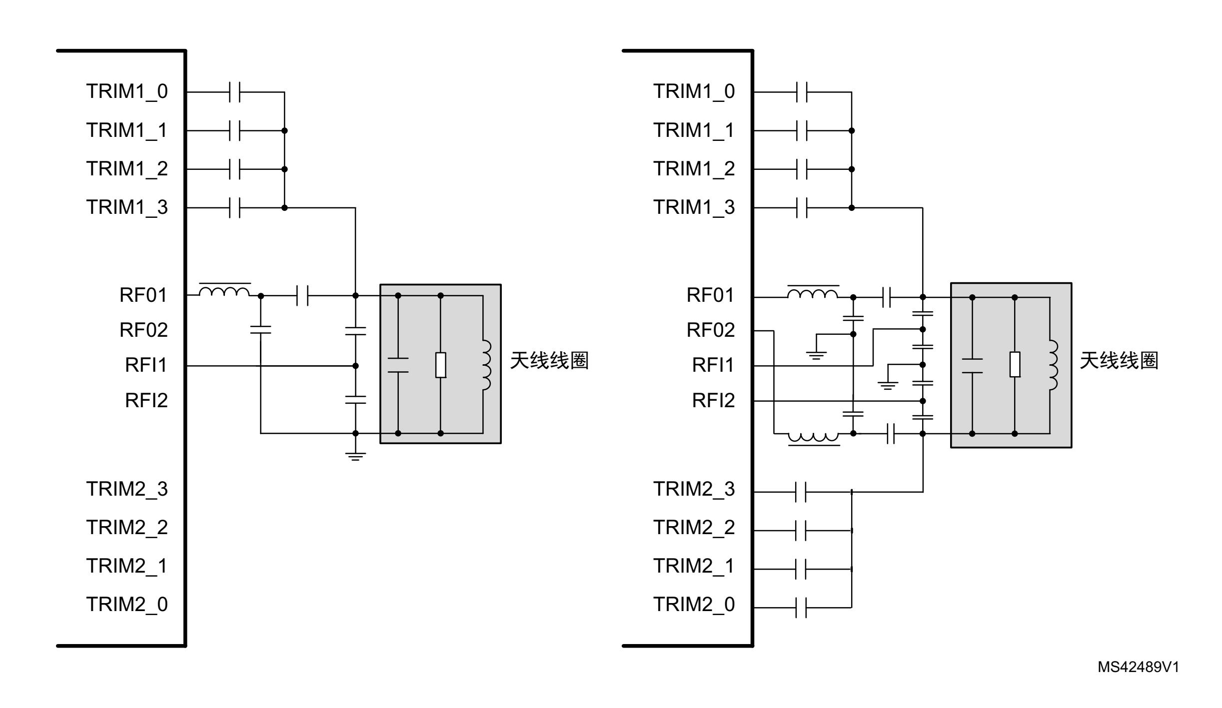
TRIMx_y引脚包含到VSS的HVNMOS开关晶体管。

连接到LSB调谐电容的TRIM1_0和TRIM2_0开关晶体管导通电阻典型值为50 Ω。3 V VSP_D时，其他引脚的导通电阻是二进制加权的（TRIM1_3和TRIM2_3的导通电阻典型值为6.25 Ω）。HVNMOS开关晶体管的击穿电压为25 V，限制了调谐时LC谐振腔上的最大峰峰电压。

调谐过程中，在VSS上连接一些调谐电容并使其他引脚浮空，可调节谐振频率。相同二进制权重的开关由相同源来驱动，并且同时接通或关闭（例如，开关TRIM1_2和TRIM2_2会同时接通或关闭）。

通过发送直接命令Calibrate Antenna，或者使用外部控制器上应用的算法（使用*天线校准控制寄存器*进行相位和幅度测量，并控制TRIM开关），可自动实现天线调谐。

图26. 到天线LC谐振腔的调谐电容连接方式



天线调谐使用Calibrate Antenna直接命令

要利用直接命令Calibrate Antenna实现天线LC谐振腔，二进制加权调谐电容必须连接到两个线圈端子之间的引脚TRIM1_3至TRIM1_0，以及TRIM2_3至TRIM2_0。

自动过程中，开始时发送直接命令Calibrate Antenna，ST25R3911B 寻找TRIM开关的位置，在此位置RFO输出信号和RFI输入信号之间的相位差最接近*天线校准目标寄存器*中所定义的目标相位。

天线LC谐振腔直接连接到RFO引脚（见*图 26*，如果使用了单侧和差分驱动，则分别在左侧和右侧）的情况下，当天线LC谐振腔处于谐振状态时，RFO输出信号和RFI输入电压之间存在90°相移。如果RFO输出和天线LC谐振腔之间另外插入了一个EMC滤波器，则谐振情况下相移取决于EMC滤波器产生的附加相移。

执行直接命令Calibrate Antenna的过程中，ST25R3911B 运行多次相位测量，并改变引脚的配置以寻找最佳设置。因此，*天线校准目标寄存器*的格式与直接命令Measure Phase结果的格式相同。

通过读取*天线校准显示寄存器*，可以观测到TRIMx_y引脚配置（直接命令Calibrate Antenna的结果）。此寄存器还包含了一个错误标志，在不能进行目标相位调谐时置位。

执行直接命令Calibrate Antenna之后，可发送直接命令Measure Phase来检查实际相位。

天线调谐使用Calibration Control Register

也可以通过写入*天线校准控制寄存器*来控制TRIM开关的位置。

当此寄存器的位trim_s置为1时，微调开关位置由位tre_3至tre_0控制。

使用此寄存器，执行相位和幅度测量（使用直接命令Measure Phase和Measure Amplitude），可在外部控制器中实现不同的调谐算法。

1.2.22 Stream模式和Transparent模式

ST25R3911B成帧不支持的标准和自定义13.56MHzRFID读卡器协议可利用ST25R3911B AFE来实现，并在外部微控制器中实现成帧。

透明模式

发送直接命令Transparent Mode之后，外部微控制器直接控制传输调制器并获得接收器输出（控制逻辑变为“透明的”）。

发送直接命令Transparent Mode后，在信号/SS的上升沿进入透明模式，并且只要信号/SS保持高电平，该模式就会保持。发送直接命令Transparent Mode之前，发射器和接收器都必须开启，并且必须正确配置AFE。

当ST25R3911B 处于Transparent模式时，AFE直接由SPI控制：

- 发射器调制由引脚MOSI进行控制（为高电平则调制器开启）
- 信号rx_on由引脚SCLK来控制（为高电平，则使能RSSI和AGC）
- 接收器AM调制链输出（数字化的子载波信号）发送至引脚MISO
- 接收器PM调制链输出（数字化的子载波信号）发送至引脚IRQ

通过控制rx_on，可以使用接收器高级功能，如RSSI和AGC。Transparent模式下接收器通道选择位也是有效的，因此可以只使用两个通道输出的其中一个。选择单个信号的情况下，总是要复用至MISO，而IRQ则保持低电平。

Transparent模式下，ISO模式相关的配置位、帧和FIFO是无意义的，而其他配置位都是重要的。

使用Transparent模式来实现主动点对点（NFC）通信

按照NFCIP-1规范（ISO/IEC18092:2004），ST25R3911B实现的帧支持所有的主动模式。如果需要对此规范或一些自定义主动NFC通信进行修改，则可使用Transparent模式。

如果没有特殊的NFC主动通信透明模式，则如上所述完成对Tx调制和Rx的控制。与读卡器透明模式相比，不同之处在于，载波场的发射必须且只能在Tx期间使能。这可以通过在Tx之前及之后写入*操作控制寄存器*来实现。由于对于每个SPI命令Transparent模式都是丢失的，因此必须重新输入。

要接收主动NFC通信模式应答，只需使用AM解调通道。因此接收器AM通道必须使能，而PM可以禁用。

实现主动通信需要检测外部场。设置*辅助定义寄存器*中的位en_fd可使能具有Peer Detection Threshold的External Field Detector。当选择了位en_fd并且ST25R3911B 处于Transparent模式时，External Field Detector输出复用到引脚IRQ。这可使能对外部目标/发起场的检测， 并执行RF防冲突。

如果NFC Field ON命令时序对于正在执行的NFC主动协议是正确的，那么这些命令可与Transparent模式组合使用。这些命令用来实现RF防冲突、开启场，以及从场开启到开始发送消息之间的最小时间超时。获得中断之后，控制器在Transparent模式下会产生一个消息。

当位en_fd置位并且*操作控制寄存器*的所有位都被置为0时，ST25R3911B 处于低功耗NFC Target Mode （与targ位设置的情形相同，见NFCIP-1 Active Communication Target）。这种模式下，可检测到发起方场。

收到一个I_eon标志置位的IRQ之后，控制器开启振荡器、稳压器和接收器，并在Transparent模式下进行接收。

MIFARE™ Classic兼容

为了与MIFARE™ Classic兼容设备进行通信，寄存器05h的bit6和bit7可用来使能Type A 自定义帧。或者，ST25R3911B的Stream模式可用来发送和接收MIFARE™ Classic兼容或自定义帧。

Stream模式

Stream模式可用来执行协议， 其中可以使用ISO14443接收编码所需的低级帧，而解码信息可存入FIFO中。 此模式相比于Transparent模式的主要优势在于， 定时在ST25R3911B中产生，因此外部控制器不需要实时操作。Stream模式在*模式定义寄存器*中进行选择，操作选项定义在*流模式定义寄存器*中。

对于标签-读卡器通信，可支持两种不同的模式（子载波和BPSK流模式）。Stream模式的通用规则是，第一个发送/接收的位放入FIFO字节的LSB位置。

选择Stream模式之后，接收器和发射器必须正确配置（Analog Preset直接命令不能应用于Stream模式）。

子载波流模式

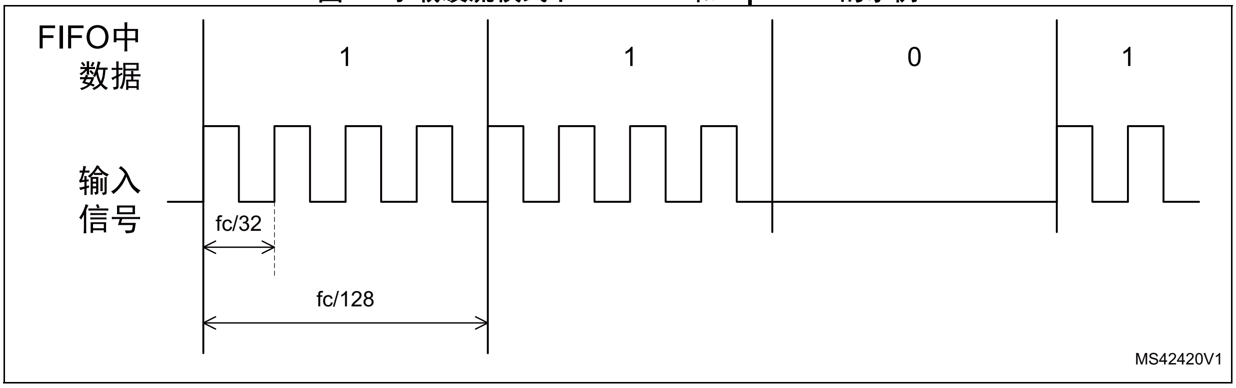
此模式支持的协议中，在标签-读卡器通信期间，子载波信号时间周期与无调制时间周期互换（如同在ISO14443A 106 kbit/s模式中那样）。此模式下，定义了子载波频率和一个报告周期中的子载波频率周期数。支持的子载波频率范围为fc/64（212 kHz）至fc/8（1695 kHz）。

支持的一个报告周期内子载波频率周期数范围为2至8。

发送接收中断起始位，其第一个数据位在检测到子载波的第一个报告时间周期之后放入FIFO中。FIFO数据的一个位可以给出在一个报告周期内输入信号的状态信息。逻辑1意思是，报告周期中检测到子载波，而0意思是报告周期中未检测到调制。当在超过8个报告周期内都没有接收到子载波信号时，报告接收结束。

*图 27*显示了设置为scf = 01b和scp = 10b的示例。利用此设置，子载波频率设为fc/32（424 kHz），报告周期设为4个子载波周期（128/fc ~106 μs）。

图27. 子载波流模式下scf = 01b和scp = 10b的示例



BPSK流模式

此模式支持的协议中，使用标签-读卡器通信BPSK编码（像ISO14443B模式中那样）。

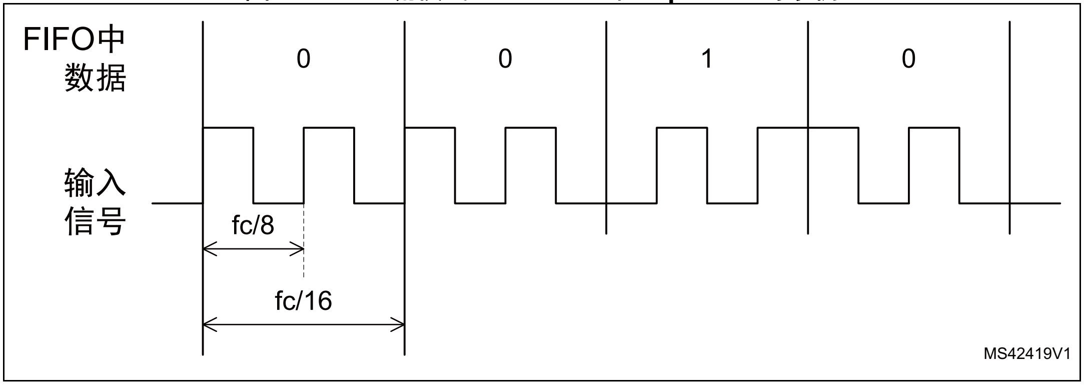
此模式下，定义了子载波频率和一个报告周期中的子载波频率周期数。支持的子载波频率范围为fc/16（848 kHz）至fc/4（3390 kHz）。支持的一个报告周期内子载波频率周期数范围为1至8。

发送接收中断起始位，其第一个数据位在检测到子载波的第一个报告时间周期之后放入FIFO中。逻辑0用来表示初始检测到的相位，而逻辑1表示初始相位的反相相位。

当第一个报告周期中未检测到子载波时，报告接收结束。

*图 28*显示了设置为scf = 01b和scp = 01b的示例。采用此设置，子载波频率设为fc/8（1695 kHz），报告周期设为2个子载波周期（16/fc ~1.18 μs）。

图28. BPSK流模式下scf = 01b和scp = 10b的示例

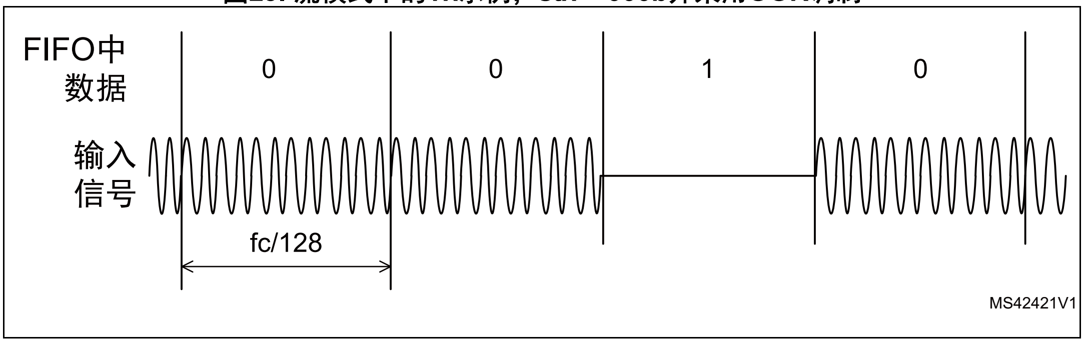


流模式下读卡器-标签通信

读卡器-标签通信控制在两种流模式下是相同的。读卡器-标签编码由FIFO中数据定义。*流模式定义寄存器*的stx位定义了Tx时间周期，在此期间FIFO数据的一个位定义发射器状态。如果数据位设为逻辑0，则不进行调制，如果为逻辑1，则根据当前调制类型设置（AM或OOK）对发射载波信号进行调制。流模式下传输是通过发送直接命令Transmit Without CRC或Transmit With CRC来开始的。

*图 29*显示了设置为stx = 000b的示例。采用此设置，Tx时间周期定义为128/fc（~9,44 µs）。

图29. 流模式下的Tx示例，stx = 000b并采用OOK调制



1.3 寄存器

下面的6位寄存器地址采用十六进制表示法定义。可能的地址范围为00h至3Fh。

ST25R3911B中实现了两类寄存器：

- 配置寄存器
- 显示寄存器

配置寄存器用来配置ST25R3911B。它们可通过SPI进行读写（RW）。显示寄存器是只读的（R）；它们包含ST25R3911B内部状态信息。

上电时以及发送直接命令Set Default后，寄存器会置为其默认状态。*IO配置寄存器1*，*IO配置寄存器2*和*操作控制寄存器*例外。这些寄存器与硬件配置有关，仅在上电时会复位至其默认状态。

表17. 寄存器映射

地址（hex）	主要功能	目录	备注	类型
00	IO配置	*IO配置寄存器1*	仅在上电时被置为默认状态	RW
01		*IO配置寄存器2*		RW
02	操作控制和模式定义	*操作控制寄存器*	仅在上电时被置为默认状态	RW
03		*模式定义寄存器*	-	RW
04		*比特率定义寄存器*	-	RW
05	配置	*ISO14443A和NFC 106kb/s设置寄存器*	-	RW
06		*ISO14443B设置寄存器1*	-	RW
07		*ISO14443B和FeliCa设置寄存器*	-	RW
08		*流模式定义寄存器*	-	RW
09		*辅助定义寄存器*	-	RW
0A		*接收器配置寄存器1*	-	RW
0B		*接收器配置寄存器2*	-	RW
0C		*接收器配置寄存器3*	-	RW
0D		*接收器配置寄存器4*	-	RW
0E	定时器定义	*屏蔽接收定时器寄存器*	-	RW
0F		*无响应定时器寄存器1*	-	RW
10		*无响应定时器寄存器2*	-	RW
11		*通用和无响应定时器控制寄存器*	-	RW
12		*通用定时器寄存器1*	-	RW
13		*通用定时器寄存器2*	-	RW

表17. 寄存器映射（续）

地址（hex）	主要功能	目录	备注	类型
14	中断和相关报告	*主中断寄存器*	-	RW
15		*屏蔽定时器和NFC中断寄存器*	-	RW
16		*屏蔽错误和唤醒中断寄存器*	-	RW
17		*主中断寄存器*	-	R
18		*屏蔽定时器和NFC中断寄存器*	-	R
19		*错误和唤醒中断寄存器*	-	R
1A		*FIFO状态寄存器1*	-	R
1B		*FIFO状态寄存器2*	-	R
1C		*冲突显示寄存器*	-	R
1D	发送字节定义	*发送字节数寄存器1*	-	RW
1E		*发送字节数寄存器2*	-	RW
1F	NFCIP比特率检测显示	*NFCIP比特率检测显示寄存器*	-	R
20	A/D转换器输出	*A/D转换器输出寄存器*	-	R
21	天线校准	*天线校准控制寄存器*	-	RW
22		*天线校准目标寄存器*	-	RW
23		*天线校准显示寄存器*	-	R
24	AM调制深度和天线驱动器	*AM调制深度控制寄存器*	-	RW
25		*AM调制深度显示寄存器*	-	R
26		*RFO AM调制电平定义寄存器*	-	RW
27		*RFO正常电平定义寄存器*	-	RW
29	外场检测器阈值	*外部场检测阈值寄存器*	-	RW
2A	Regulator	*稳压器控制寄存器*	-	RW
2B		*稳压器和定时器显示寄存器*	-	R
2C	接收器状态显示	*RSSI显示寄存器*	-	R
2D		*增益减少状态寄存器*	-	R
2E	电容传感器	*电容传感器控制寄存器*	-	RW
2F		*电容传感器显示寄存器*	-	R
30	辅助显示	*辅助显示寄存器*	-	R

表17. 寄存器映射（续）

地址（hex）	主要功能	目录	备注	类型
31	唤醒	*唤醒定时器控制寄存器*	-	RW
32		*幅度测量配置寄存器*	-	RW
33		*幅度测量参考寄存器*	-	RW
34		*幅度测量自动取平均显示寄存器*	-	R
35		*幅度测量显示寄存器*	-	R
36		*相位测量配置寄存器*	-	RW
37		*相位测量参考寄存器*	-	RW
38		*相位测量自动取平均显示寄存器*	-	R
39		*相位测量显示寄存器*	-	R
3A		*电容测量配置寄存器*	-	RW
3B		*电容测量参考寄存器*	-	RW
3C		*电容测量自动取平均显示寄存器*	-	R
3D		*电容测量显示寄存器*	-	R
3F	IC身份	*IC身份寄存器*	-	R

1.3.1 IO配置寄存器1

地址：00h

类型：RW

表18. IO配置寄存器1(1)

<table>
<tr><th>位</th><th>名称</th><th>默认</th><th colspan="3">功能</th><th>注释</th></tr>
<tr><td>7</td><td>单侧</td><td>0</td><td colspan="3">1：只用一个RFO驱动器</td><td>选择单侧或差分天线驱动</td></tr>
<tr><td>6</td><td>rfo2</td><td>0</td><td colspan="3">0：RFO1，RFI1
1：RFO2，RFI2</td><td>选择在单侧驱动的情况下使用哪个输出驱动器和哪个输入</td></tr>
<tr><td>5</td><td>fifo_lr</td><td>0</td><td colspan="3">0: 64
1: 80</td><td>用于接收的FIFO水位</td></tr>
<tr><td>4</td><td>fifo_lt</td><td>0</td><td colspan="3">0: 32
1: 16</td><td>用于发送的FIFO水位</td></tr>
<tr><td>3</td><td>osc</td><td>1</td><td colspan="3">0：13.56 MHz 晶体
1：27.12 MHz 晶体</td><td>晶体振荡器选择器</td></tr>
<tr><td rowspan="3">2</td><td rowspan="3">out_cl1</td><td rowspan="3">0</td><td>out_cl1</td><td>out_cl0</td><td>MCU_CLK</td><td rowspan="5">晶体振荡器运行时，MCU_CLK输出上的时钟频率选择。为“11”的情况下，MCU_CLK输出保持低电平。</td></tr>
<tr><td>0</td><td>0</td><td>3.39 MHz</td></tr>
<tr><td>0</td><td>1</td><td>6.78 MHz</td></tr>
<tr><td rowspan="2">1</td><td rowspan="2">out_cl0</td><td rowspan="2">0</td><td>1</td><td>0</td><td>13.56 MHz</td></tr>
<tr><td>1</td><td>1</td><td>禁用</td></tr>
<tr><td>0</td><td>lf_clk_off</td><td>0</td><td colspan="3">1：MCU_CLK上无LF时钟</td><td>默认情况下，当晶体振荡器未在运行且MCU_CLK输出未被禁用时，MCU_CLK输出上存在有32 kHz的LF时钟。</td></tr>
</table>

1. 仅在上电时进行默认设置。

1.3.2 IO配置寄存器2

地址：01h

类型：RW

表19. IO配置寄存器2(1)

位	名称	默认	功能	注释
7	sup3 V	0	0：5 V供电 1：3.3 V供电	5 V供电，范围：4.1 V至5.5 V 3.3 V供电，范围：2.4 V至3.6 V 最小值 对于VHBR，为3.0 V
6	vspd_off	0	1：禁用VSP_D稳压器	用于低成本应用。当此位被设置为： – 3 V或5 V供电时，VSP_D和VSP_A应外部短路 – 3.3V时，不足300mV，那么应用的VSP_D可选择从V_{DD}供电
5	-	-	未使用	-
4	miso_pd2	0	1：MISO上下拉，当/SS为低且MISO未由ST25R3911B驱动时	-
3	miso_pd1	0	1：MISO上下拉，当/SS为高时	-
2	io_18	0	1：V_{DD_IO}为1.8 V时，增加MISO驱动电平	-
1	-	-	未使用	-
0	slow_up	0	1：Tx开启时，缓慢斜升	≥ 10 μs，10% 至90%，针对B

1. 仅在上电时进行默认设置。

1.3.3 操作控制寄存器

地址：02h

类型：RW

表20. 操作控制寄存器(1)

位	名称	默认	功能	注释
7	en	0	1：使能振荡器和稳压器（Ready模式）	-
6	rx_en	0	1：使能Rx操作	-
5	rx_chn	0	0：AM和PM通道均使能 1：使能一个通道	在只有一个Rx通道使能的情况下，通过*接收器配置寄存器1*位ch_sel完成选择
4	rx_man	0	0：自动通道选择 1：手动通道选择	在两个Rx通道均使能的情况下，会对通道选择方式进行选择，通过*接收器配置寄存器1*位ch_sel完成手动选择
3	tx_en	0	1：使能Tx操作	该位由NFC Field ON命令自动置位，并在发送完成后在NFC主动通信模式下复位
2	wu	0	1：使能唤醒模式	按照*唤醒定时器控制寄存器*中的设置
1	-	-	未使用	-
0	-	-		-

1. 仅在上电时进行默认设置。

1.3.4 模式定义寄存器

地址：03h

类型：RW

表21. 模式定义寄存器(1)

位	名称	默认	功能	注释
7	targ	0	0：发起方 1：目标	-
6	om3	0	请参见*表 22*和*表 23*	操作模式选择 对于发起方和目标模式是不同的
5	om2	0		
4	om1	0		
3	om0	1		
2	-	0	未使用	-
1	-	0		-
0	nfc_ar	0	1：自动开始Response RF Collision Avoidance时序	如果检测到外场关闭，则自动开始Response RF Collision Avoidance

1. 上电时以及Set Default命令后，进行默认设置。

表22. 发起方工作模式(1)

om3	om2	om1	om0	注释
0	0	0	0	NFCIP-1主动通信
0	0	0	1	ISO14443A
0	0	1	0	ISO14443B
0	0	1	1	FeliCa™
0	1	0	0	NFC Forum Type 1 Tag（Topaz）
1	1	1	0	子载波流模式
1	1	1	1	BPSK流模式
其他组合				未使用

1. 如果选择了不支持的工作模式，则Tx/Rx操作被禁用。

表23. 目标工作模式(1)

om3	om2	om1	om0	注释
0	0	0	0	NFCIP-1主动通信，比特率检测模式
0	0	0	1	NFCIP-1主动通信，正常模式
其他组合				未使用

1. 如果选择了不支持的工作模式，则Tx/Rx操作被禁用。

1.3.5 比特率定义寄存器

地址：04h

类型：RW

表24. 比特率定义寄存器(1)(2)

<table>
<tr><th>位</th><th>名称</th><th>默认</th><th>功能</th><th>注释</th></tr>
<tr><td>7</td><td>tx_rate3</td><td>0</td><td rowspan="8">请参考表 25。</td><td rowspan="4">选择Tx的比特率</td></tr>
<tr><td>6</td><td>tx_rate2</td><td>0</td></tr>
<tr><td>5</td><td>tx_rate1</td><td>0</td></tr>
<tr><td>4</td><td>tx_rate0</td><td>0</td></tr>
<tr><td>3</td><td>rx_rate3</td><td>0</td><td rowspan="4">所选协议可支持不同Rx和Tx比特率的情况下，选择Rx比特率</td></tr>
<tr><td>2</td><td>rx_rate2</td><td>0</td></tr>
<tr><td>1</td><td>rx_rate1</td><td>0</td></tr>
<tr><td>0</td><td>rx_rate0</td><td>0</td></tr>
</table>

1. 上电时以及Set Default命令后，进行默认设置。
2. 利用直接命令Go to Normal NFC Mode而自动加载。

表25. 比特率编码(1)

<table>
<tr><th>rate3</th><th>rate2</th><th>rate1</th><th>rate0</th><th>比特率（kbit/s）</th><th>注释</th></tr>
<tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>fc/128（~106）</td><td>-</td></tr>
<tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>fc/64（~212）</td><td>-</td></tr>
<tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>fc/32（~424）</td><td>-</td></tr>
<tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>fc/16（~848）</td><td>-</td></tr>
<tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>fc/8（~1695）</td><td rowspan="3">VHBR Tx仅支持ISO14443B模式
VHBR Rx仅支持fc/8和fc/4</td></tr>
<tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>fc/4（~3390）</td></tr>
<tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>fc/2（~6780）</td></tr>
<tr><td colspan="4">其他组合</td><td>-</td><td>未使用</td></tr>
</table>

1. 如果选择了不支持的比特率，则Tx/Rx操作被禁用。

1.3.6 ISO14443A和NFC 106kb/s设置寄存器

地址：05h

类型：RW

表26. ISO14443A和NFC 106kb/s设置寄存器(1)

位	名称	默认	功能	注释
7	no_tx_par(2)	0	1：Tx过程中不产生奇偶校验位	数据流来自FIFO，必须使用命令Transmit Without CRC来完成发送。
6	no_rx_par(2)	0	1：接收，无奇偶校验和CRC	当置为1时，接收的比特流存入FIFO，不进行奇偶校验和CRC检测
5	nfc_f0	0	1：支持NFCIP-1 Transport Frame格式	NFC主动通信模式下，在Tx过程中添加SB（F0）和LEN字节，在Rx过程中跳过SB（F0）字节
4	p_len3	0	请参考*表 27*。	调制脉冲宽度；定义为13.56 MHz的时钟周期。
3	p_len2	0		
2	p_len1	0		
1	p_len0	0		
0	antcl	0	1：ISO14443防冲突帧	当发送ISO14443A位定向防冲突帧时，该位必须置为1

1. 上电时以及Set Default命令后，进行默认设置。
2. no_tx_par和no_rx_par用来发送和接收自定义帧，如Mifare™ Classic帧。

表27. ISO14443A调制脉冲宽度

p_len3	p_len2	p_len1	p_len0	对于不同的比特率，脉冲宽度为1/fc			
				fc/128	fc/64	fc/32	fc/16
0	1	1	1	42	-	-	-
0	1	1	0	41	20	-	-
0	1	0	1	40	21	-	-
0	1	0	0	39	22	13	-
0	0	1	1	38	21	12	8
0	0	1	0	37	20	11	7
0	0	0	1	36	19	10	6
0	0	0	0	35	18	9	5
1	1	1	1	34	17	8	4
1	1	1	0	33	16	7	3
1	1	0	1	32	15	6	2
1	1	0	0	31	14	5	-
1	0	1	1	30	13	-	-
1	0	1	0	29	12	-	-

表27. ISO14443A调制脉冲宽度（续）

p_len3	p_len2	p_len1	p_len0	对于不同的比特率，脉冲宽度为1/fc			
				fc/128	fc/64	fc/32	fc/16
1	0	0	1	28	-	-	-
1	0	0	0	27	-	-	-

1.3.7 ISO14443B设置寄存器1

地址：06h

类型：RW

表28. ISO14443B设置寄存器1(1)

<table>
<tr><th>位</th><th>名称</th><th>默认</th><th colspan="4">功能</th><th>注释</th></tr>
<tr><td rowspan="2">7</td><td rowspan="2">egt2</td><td rowspan="2">0</td><td>egt2</td><td>egt1</td><td>egt0</td><td>etu数</td><td rowspan="7">EGT定义为etu数</td></tr>
<tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr>
<tr><td rowspan="2">6</td><td rowspan="2">egt1</td><td rowspan="2">0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr>
<tr><td>⋮</td><td>⋮</td><td>⋮</td><td>⋮</td></tr>
<tr><td rowspan="2">5</td><td rowspan="2">egt0</td><td rowspan="2">0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>6</td></tr>
<tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>6</td></tr>
<tr></tr>
<tr><td>4</td><td>sof_0</td><td>0</td><td colspan="4">0：10 etu
1：11 etu</td><td>SOF，为逻辑0时的etu数（10或11）</td></tr>
<tr><td>3</td><td>sof_1</td><td>0</td><td colspan="4">0：2 etu
1：3 etu</td><td>SOF，为逻辑1时的etu数（2或3）</td></tr>
<tr><td>2</td><td>eof</td><td>0</td><td colspan="4">0：10 etu
1：11 etu</td><td>EOF，为逻辑0时的etu数（10或11）</td></tr>
<tr><td>1</td><td>half</td><td>0</td><td colspan="4">0：SOF和EOF由sof_0、sof_1和eof位定义
1：SOF 10.5、2.5，EOF：10.5</td><td>设置SOF和EOF设置为中等规格</td></tr>
<tr><td>0</td><td>rx_st_om</td><td>0</td><td colspan="4">0：Rx的开始/停止位一定存在
1：Rx的开始/停止位省略</td><td>SOF= 固定为10低 - 2高，EOF未定义，存入FIFO的最后完整字节(2)</td></tr>
</table>

1. 上电时以及Set Default命令后，进行默认设置。
2. 使用Stream模式可以实现Tx开始/停止位省略。

1.3.8 ISO14443B和FeliCa设置寄存器

地址：07h

类型：RW

表29. ISO14443B和FeliCa设置寄存器(1)

位	名称	默认	功能	注释
7	tr1_1	0	请参考表 30。	-
6	tr1_0	0		
5	no_sof	0	1：无SOF PICC至PCD	根据ISO14443-3的章节7.10.3.3 支持B’
4	no_eof	0	1：无EOF PICC至PCD	根据ISO14443-3的章节7.10.3.3
3	eof_12	0	0：PICC EOF 10至11 etu 1：PICC EOF 10至12 etu	支持B(2)
2	phc_th	0	1：提高相位变化检测容差	-
1	f_p1	0	00: 48 01: 64 10: 80 11: 96	FeliCa前导码长度（对NFCIP-1主动通信比特率242和484 kb/s也有效）
0	f_p0	0		

1. 上电时以及Set Default命令后，进行默认设置。
2. EOF检测需要更大的比特率容差范围，其每位只有一个子载波频率周期（fc/16及更高）。因此，不能区分出EOF是有11个还是12个etu，并且将此位置位对EOF检测无影响。

表30. 最小TR1编码

tr1_1	tr1_0	PICC至PCD比特率的最小TR1	
		fc/128	>fc/128
0	0	80/fs	80/fs
0	1	64/fs	32/fs
1	0	未使用	未使用
1	1	未使用	未使用

1.3.9 流模式定义寄存器

地址：08h

类型：RW

表31. 流模式定义寄存器(1)

<table>
<tr><th>位</th><th>名称</th><th>默认</th><th colspan="3">功能</th><th>注释</th></tr>
<tr><td>7</td><td></td><td>0</td><td colspan="3">-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>6</td><td>scf1</td><td>0</td><td colspan="3" rowspan="2">请参考表 32。</td><td rowspan="2">子载波和BPSK流模式的子载波频率定义</td></tr>
<tr><td>5</td><td>scf0</td><td>0</td></tr>
<tr><td rowspan="3">4</td><td rowspan="3">scp1</td><td rowspan="3">0</td><td>scp1</td><td>scp0</td><td>脉冲数</td><td rowspan="5">子载波和BPSK流模式下，报告周期内的子载波脉冲数</td></tr>
<tr><td>0</td><td>0</td><td>1（仅限BPSK）</td></tr>
<tr><td>0</td><td>1</td><td>2</td></tr>
<tr><td rowspan="2">3</td><td rowspan="2">scp0</td><td rowspan="2">0</td><td>1</td><td>0</td><td>4</td></tr>
<tr><td>1</td><td>1</td><td>8</td></tr>
<tr><td>2</td><td>stx2</td><td>0</td><td colspan="3" rowspan="3">请参考表 33。</td><td rowspan="3">Tx调制器控制的时间周期定义（针对子载波和BPSK流模式）</td></tr>
<tr><td>1</td><td>stx1</td><td>0</td></tr>
<tr><td>0</td><td>stx0</td><td></td></tr>
</table>

1. 上电时以及Set Default命令后，进行默认设置。

表32. 子载波和BPSK流模式的子载波频率定义

scf1	scf0	子载波模式	BPSK模式
0	0	fc/64（212 kHz）	fc/16（848 kHz）
0	1	fc/32（424 kHz）	fc/8（1695 kHz）
1	0	fc/16（848 kHz）	fc/4（3390 kHz）
1	1	fc/8（1695 kHz）	未使用

表33. 流模式Tx调制器控制的时间周期定义

stx2	stx1	stx0	时间周期
0	0	0	fc/128（106 kHz）
0	0	1	fc/64（212 kHz）
0	1	0	fc/32（424 kHz）
0	1	1	fc/16（848 kHz）
1	0	0	fc/8（1695 kHz）
1	0	1	fc/4（3390 kHz）
1	1	0	fc/2（6780 kHz）
1	1	1	未使用

1.3.10 辅助定义寄存器

地址：09h

类型：RW

表34. 辅助定义寄存器(1)

位	名称	默认	功能	注释
7	no_crc_rx	0	1：无CRC接收	对所有协议有效，对于ISO14443A REQA、WUPA和防冲突，无CRC接收自动完成(2)
6	crc_2_fifo	0	1：进行CRC检查，但是会将CRC字节存入FIFO，并将其增加到接收字节数上	EMV兼容所要求
5	tr_am	0	0：OOK 1：AM	利用命令Analog Preset自动设置，可通过寄存器写入而修改，必须针对透明和比特流模式Tx而定义
4	en_fd	0	1：使能External Field Detector	激活具有Peer Detection阈值的External Field Detector 针对NFCIP-1主动通信模式而预设
3	ook_hr	0	1：OOK调制过程中使RFO驱动器处于三态	对所有使用OOK调制的协议有效（在透明模式下也有效）
2	rx_tol	1	1：BPSK fc/32：对于比特率fc/32、ISO14443A fc/128、NFCIP-1 fc/128，BPSK解码器容差更大：第一个字节的处理容差更大	-
1	nfc_n1	0	-	直接命令NFC Initial Field ON和NFC Response Field ON的n值（0 ... 3）
0	nfc_n0	0		

1. 上电时以及Set Default命令后，进行默认设置。
2. 当使用直接命令Transmit REQA和Transmit WUPA分别发送了REQA和WUPA命令时，以及通过设置位antcl实现防冲突的情况下，无CRC接收自动完成。

1.3.11 接收器配置寄存器1

地址：0Ah

类型：RW

表35. 接收器配置寄存器1[1]

位	名称	默认	功能	注释
7	ch_sel	0	0：使能AM通道 1：使能PM通道	*操作控制寄存器*中只使能了一个Rx通道的情况下，它定义哪个通道使能。 两个通道均使能并且手动通道选择激活的情况下，它定义哪个通道用来接收帧。
6	amd_sel	0	0：峰值探测器 1：混频器	AM解调器类型选择， 针对混频器进行VHBR自动预设
5	lp2	0	低通控制（见*表 2*）	对于自动及其他建议的滤波器设置，请参考*表 3*。
4	lp1	0		
3	lp0	0		
2	h200	0	第一级和第三级零点设置（参见*表 1*）	
1	h80	0		
0	z12k	0		

1. 上电时以及Set Default命令后，进行默认设置。

1.3.12 接收器配置寄存器2

地址：0Bh

类型：RW

表36. 接收器配置寄存器2[(1)]

位	名称	默认	功能	注释
7	rx_lp	0	1：低功耗接收器操作	-
6	lf_op	0	0：差分LF操作 1：LF输入分流（RFI1至AM通道，RFI2至PM通道）	-
5	lf_en	0	1：LF信号在接收器输入上	-
4	agc_en	1	1：AGC使能	-
3	agc_m	1	0：AGC在前8个子载波脉冲上运行 1：AGC在整个接收周期内运行	-
2	agc_alg	0	0：使用预设算法 1：使用重设算法	预设算法建议用于短SOF的协议（如ISO14443A fc/128）
1	sqm_dyn	1	1：Tx结束后，自动激活静噪	静噪在Tx结束18.88 µs后开始，在Mask Receive Timer到期时停止
0	pmix_cl	0	0：RFO 1：内部信号	PM解调器混频器时钟源，单侧模式下始终使用内部信号

1. 上电时以及Set Default命令后，进行默认设置。

1.3.13 接收器配置寄存器3

地址：0Ch（第1级增益设置）

类型：RW

表37. 接收器配置寄存器3[(1)]

<table>
<tr><th>位</th><th>名称</th><th>默认</th><th>功能</th><th>注释</th></tr>
<tr><td>7</td><td>rg1_am2</td><td>1</td><td rowspan="3">AM通道第一增益级的增益衰减/提高。</td><td rowspan="3">0：全增益
1-6：增益衰减，每步长衰减2.5 dB（总共15 dB）
7：提高+5.5 dB</td></tr>
<tr><td>6</td><td>rg1_am1</td><td>1</td></tr>
<tr><td>5</td><td>rg1_am0</td><td>0</td></tr>
<tr><td>4</td><td>rg1_pm2</td><td>1</td><td rowspan="3">PM通道第一增益级的增益衰减/提高。</td><td rowspan="3">0：全增益
1-6：增益衰减，每步长衰减2.5 dB（总共15 dB）
7：提高+5.5 dB</td></tr>
<tr><td>3</td><td>rg1_pm1</td><td>1</td></tr>
<tr><td>2</td><td>rg1_pm0</td><td>0</td></tr>
<tr><td>1</td><td>lim</td><td>0</td><td>1：第1和第2级的限幅输出</td><td>信号限幅为0.6 V，针对NFCIP-1主动通信模式预设</td></tr>
<tr><td>0</td><td>rg_nfc</td><td>0</td><td>1：使第2和第3增益级的增益衰减量为-6 dB，并且比较器窗口最大</td><td>针对NFCIP-1主动
通信模式预设。将该位清零后，接收器必须重新开始。</td></tr>
</table>

1. 上电时以及Set Default命令后，进行默认设置。

1.3.14 接收器配置寄存器4

地址：0Dh（第2和第3级增益设置）

类型：RW

表38. 接收器配置寄存器4[(1)(2)]

<table>
<tr><th>位</th><th>名称</th><th>默认</th><th>功能</th><th>注释</th></tr>
<tr><td>7</td><td>rg2_am3</td><td>0</td><td rowspan="4">AM通道：第二和第三级以及数字转换器中的增益衰减</td><td rowspan="4">仅0h至Ah的值可用：
– 设置为1h至4h 可通过增大数字转换窗口来降低增益，步长3dB
– 值为5h至Ah可另外降低2和第3增益级的增益，步长始终为3 dB。</td></tr>
<tr><td>6</td><td>rg2_am2</td><td>0</td></tr>
<tr><td>5</td><td>rg2_am1</td><td>0</td></tr>
<tr><td>4</td><td>rg2_am0</td><td>0</td></tr>
<tr><td>3</td><td>rg2_pm3</td><td>0</td><td rowspan="4">PM通道：第二和第三级以及数字转换器中的增益衰减</td><td rowspan="4">仅0h至Ah的值可用：
– 设置为1h至4h 可通过增大数字转换窗口来降低增益，步长3dB
– 值为5h至Ah可另外降低2和第3增益级的增益，步长始终为3 dB。</td></tr>
<tr><td>2</td><td>rg2_pm2</td><td>0</td></tr>
<tr><td>1</td><td>rg2_pm1</td><td>0</td></tr>
<tr><td>0</td><td>rg2_pm0</td><td>0</td></tr>
</table>

1. 上电时以及Set Default命令后，进行默认设置。
2. 需要发送直接命令Reset Rx Gain来将此寄存器的值载入到AGC、Squelch和RSSI模块。

1.3.15 屏蔽接收定时器寄存器

地址：0Eh

类型：RW

表39. 屏蔽接收定时器寄存器(1)(2)

位	名称	默认	功能	注释
7	mrt7	0	以 64/fc（4.72 µs）的步长来定义 范围为256/fc（~18.88 µs）至16320/fc（~1.2 ms） 超时 = mrt<7:0> * 64/fc 超时（0 ≤ mrt<7:0> ≤ 4） = 4 * 64/fc（18.88 µs） NFCIP-1比特率检测模式下，一个步长为512/fc（37.78 µs）	定义Tx结束后接收器输出被屏蔽（忽略）的时间。 对于ISO14443A 106 kbit/s的情况，Mask Receive定时器根据PCD至PICC帧延迟时间定义而定义，其中位mrt<7:0>定义n/2步长数。 最小屏蔽接收时间为18.88 µs，覆盖了发送结束后接收器的瞬态。
6	mrt6	0		
5	mrt5	0		
4	mrt4	0		
3	mrt3	1		
2	mrt2	0		
1	mrt1	0		
0	mrt0	0		

1. 上电时以及Set Default命令后，进行默认设置。
2. NFCIP-1比特率检测模式下，Mask Receive定时器时钟另外除以8（一次计数为512/fc），覆盖范围可达~9.6 ms。

1.3.16 无响应定时器寄存器1

地址：0Fh

类型：RW

表40. 无响应定时器寄存器1(1)

<table>
<tr><th>位</th><th>名称</th><th>默认</th><th>功能</th><th>注释</th></tr>
<tr><td>7</td><td>nrt15</td><td>0</td><td rowspan="8">无响应定时器定义
MSB位

以 64/fc（4.72 µs）的步长来定义
范围从0至309 ms

如果通用和无响应定时器控制寄存器中位nrt_step置位，则步长变为4096/fc</td><td rowspan="8">定义Tx结束后的超时。此超时到期而未检测到响应的情况下，发送一个No-Response中断。
NFC模式下，No-Response定时器仅在检测到外场时开始。NFCIP-1主动通信模式下，当消息发送后发射器关闭时，No-Response定时器自动开始
全0：No-Response定时器未开始。
利用Start No-Response Timer直接命令，No-Response定时器可复位和重新开始。</td></tr>
<tr><td>6</td><td>nrt14</td><td>0</td></tr>
<tr><td>5</td><td>nrt13</td><td>0</td></tr>
<tr><td>4</td><td>nrt12</td><td>0</td></tr>
<tr><td>3</td><td>nrt11</td><td>0</td></tr>
<tr><td>2</td><td>nrt10</td><td>0</td></tr>
<tr><td>1</td><td>nrt9</td><td>0</td></tr>
<tr><td>0</td><td>nrt8</td><td>0</td></tr>
</table>

1. 上电时以及Set Default命令后，进行默认设置。

1.3.17 无响应定时器寄存器2

地址：10h

类型：RW

表41. 无响应定时器寄存器2(1)

<table>
<tr><th>位</th><th>名称</th><th>默认</th><th>功能</th><th>注释</th></tr>
<tr><td>7</td><td>nrt7</td><td>0</td><td rowspan="8">无响应定时器定义
LSB位</td><td rowspan="8">-</td></tr>
<tr><td>6</td><td>nrt6</td><td>0</td></tr>
<tr><td>5</td><td>nrt5</td><td>0</td></tr>
<tr><td>4</td><td>nrt4</td><td>0</td></tr>
<tr><td>3</td><td>nrt3</td><td>0</td></tr>
<tr><td>2</td><td>nrt2</td><td>0</td></tr>
<tr><td>1</td><td>nrt1</td><td>0</td></tr>
<tr><td>0</td><td>nrt0</td><td>0</td></tr>
</table>

1. 上电时以及Set Default命令后，进行默认设置。

1.3.18 通用和无响应定时器控制寄存器

地址：11h

类型：RW

表42. 通用和无响应定时器控制寄存器(1)

位	名称	默认	功能	注释
7	gptc2	0	定义定时器触发源。 请参见*表 43*。	-
6	gptc1	0		-
5	gptc0	0		-
4	-	0	-	-
3	-	0	-	-
2	-	0	-	-
1	nrt_emv	0	1：No-Response定时器的EMV模式	-
0	nrt_step	0	0：64/fc 1：4096/fc	选择No-Response定时器步长。

1. 上电时以及Set Default命令后，进行默认设置。

表43. 定时器触发源

gptc2	gptc1	gptc0	触发源
0	0	0	无触发源，仅利用直接命令Start General Purpose Timer来开始。
0	0	1	Rx结束（EOF之后）
0	1	0	Rx开始
0	1	1	NFC模式下Tx结束，当General Purpose Timer到期时，场关闭
1	0	0	未使用
1	0	1	
1	1	0	
1	1	1	

1.3.19 通用定时器寄存器1

地址：12h

类型：RW

表44. 通用定时器寄存器1[(1)]

位	名称	默认	功能	注释
7	gpt15	-	通用超时定义MSB位 以 8/fc（590 ns）的步长来定义 范围从590 ns至38,7 ms	-
6	gpt14	-		
5	gpt13	-		
4	gpt12	-		
3	gpt11	-		
2	gpt10	-		
1	gpt9	-		
0	gpt8	-		

1. 上电时以及Set Default命令后，进行默认设置。

1.3.20 通用定时器寄存器2

地址：13h

类型：RW

表45. 通用定时器寄存器2[(1)]

位	名称	默认	功能	注释
7	gpt7	-	通用超时定义LSB位 以 8/fc（590 ns）的步长来定义 范围从590 ns至38,7 ms	-
6	gpt6	-		
5	gpt5	-		
4	gpt4	-		
3	gpt3	-		
2	gpt2	-		
1	gpt1	-		
0	gpt0	-		

1. 上电时以及Set Default命令后，进行默认设置。

1.3.21 屏蔽主中断寄存器

地址：14h

类型：RW

表46. 屏蔽主中断寄存器(1)

位	名称	默认	功能	注释
7	M_osc	0	1：当振荡器频率稳定时，屏蔽IRQ	-
6	M_wl	0	1：屏蔽由FIFO水位引起的IRQ	-
5	M_rxs	0	1：屏蔽由接收开始引起的IRQ	-
4	M_rxe	0	1：屏蔽由接收结束引起的IRQ	-
3	M_txe	0	1：屏蔽由发送结束引起的IRQ	-
2	M_col	0	1：屏蔽由位冲突引起的IRQ	-
1	-	0	未使用	-
0	-	0		-

1. 上电时以及Set Default命令后，进行默认设置。

1.3.22 屏蔽定时器和NFC中断寄存器

地址：15h

类型：RW

表47. 屏蔽定时器和NFC中断寄存器(1)

位	名称	默认	功能	注释
7	M_dct	0	1：屏蔽由直接命令完成引起的IRQ	-
6	M_nre	0	1：屏蔽由No-Response Timer到期引起的IRQ	-
5	M_gpe	0	1：屏蔽由通用定时器到期引起的IRQ	-
4	M_eon	0	1：屏蔽由于外场检测值高于目标激活阈值而引起的IRQ	-
3	M_eof	0	1：屏蔽由于外场检测值低于目标激活阈值而引起的IRQ	-
2	M_cac	0	1：屏蔽由于在RF Collision Avoidance过程中检测到冲突而引起的IRQ	-
1	M_cat	0	1：最小保护时间到期后，屏蔽IRQ	-
0	M_nfct	0	1：目标模式下识别出发起方比特率时，屏蔽IRQ	-

1. 上电时以及Set Default命令后，进行默认设置。

1.3.23 屏蔽错误和唤醒中断寄存器

地址：16h

类型：RW

表48. 屏蔽错误和唤醒中断寄存器(1)

位	名称	默认	功能	注释
7	M_crc	0	1：屏蔽由CRC错误引起的IRQ	-
6	M_par	0	1：屏蔽由奇偶校验错误引起的IRQ	-
5	M_err2	0	1：屏蔽由软帧错误引起的IRQ	-
4	M_err1	0	1：屏蔽由硬帧错误引起的IRQ	-
3	M_wt	0	1：屏蔽由唤醒定时器中断引起的IRQ	-
2	M_wam	0	1：屏蔽由幅度测量引起的Wake-up IRQ	-
1	M_wph	0	1：屏蔽由相位测量引起的Wake-up IRQ	-
0	M_wcap	0	1：屏蔽由电容测量引起的Wake-up IRQ	-

1. 上电时以及Set Default命令后，进行默认设置。

1.3.24 主中断寄存器

地址：17h

类型：R

表49. 主中断寄存器(1)(2)

位	名称	默认	功能	注释
7	I_osc	-	当振荡器频率稳定时产生的IRQ	通过设置*操作控制寄存器*位en使振荡器开始后，置位。
6	I_wl	-	由FIFO水位引起的IRQ	接受过程中置位，通知FIFO几乎已满，必须读出。 发送过程中置位，通知FIFO几乎已空，必须额外发送数据。
5	I_rxs	-	由接收开始引起的IRQ	-
4	I_rxe	-	由接收结束引起的IRQ	-
3	I_txe	-	由发送结束引起的IRQ	-
2	I_col	-	由位冲突引起的IRQ	-
1	I_tim	-	由定时器或NFC事件引起的IRQ	详见*定时器和NFC中断寄存器*
0	I_err	-	由错误或唤醒定时器引起的IRQ	详见*错误和唤醒中断寄存器*

1. 上电时或Set Default命令后，此寄存器内容被置为0。
2. 主中断寄存器被读取后，除了位1和0（在相应中断寄存器被读取后置为0）之外，其内容均被置为0。

1.3.25 定时器和NFC中断寄存器

地址：18h

类型：R

表50. 定时器和NFC中断寄存器(1)(2)

位	名称	默认	功能	注释
7	I_dct	-	由直接命令完成引起的IRQ	-
6	I_nre	-	由No-Response Timer到期引起的IRQ	-
5	I_gpe	-	由通用定时器到期引起的IRQ	-
4	I_eon	-	由于检测到外场高于目标激活水平而引起的IRQ	-
3	I_eof	-	由于检测到外场低于目标激活水平而引起的IRQ	-
2	I_cac	-	由于在RF Collision Avoidance过程中检测到冲突而引起的IRQ	RF Collision Avoidance过程中检测到外场
1	I_cat	-	最小保护时间到期后产生的IRQ	RF Collision Avoidance过程中未检测到外场，场开启，最小保护时间（根据NFCIP-1）后，发送IRQ
0	I_nfct	-	目标模式下识别出发起方比特率时，产生IRQ	-

1. 上电时或Set Default命令后，此寄存器内容被置为0。
2. 主中断寄存器被读取之后，其内容被置为0。

1.3.26 错误和唤醒中断寄存器

地址：19h

类型：R

表51. 错误和唤醒中断寄存器(1)(2)

位	名称	默认	功能	注释
7	I_crc	-	CRC错误	-
6	I_par	-	奇偶校验错误	-
5	I_err2	-	软帧错误	帧错误不会导致Rx数据损坏
4	I_err1	-	硬帧错误	帧错误会导致Rx数据损坏
3	I_wt	-	唤醒定时器中断	执行Start Wake-Up Timer命令后，超时 每次超时IRQ选项都被选择的情况下
2	I_wam	-	由幅度测量引起的唤醒中断	幅度测量的结果是比参考值大Δam
1	I_wph	-	由相位测量引起的唤醒中断	相位测量的结果是比参考值大Δpm
0	I_wcap	-	由电容测量引起的唤醒中断	电容测量的结果是比参考值大Δcm

1. 上电时或Set Default命令后，此寄存器内容被置为0。
2. 主中断寄存器被读取之后，其内容被置为0。

1.3.27 FIFO状态寄存器1

地址：1Ah

类型：R

表52. FIFO状态寄存器1[(1)]

位	名称	默认	功能	注释
7	-	-	-	-
6	fifo_b6	-	FIFO中未被读出的字节数（二进制编码）	有效范围为0（000 0000b）至96（110 0000b）
5	fifo_b5	-		
4	fifo_b4	-		
3	fifo_b3	-		
2	fifo_b2	-		
1	fifo_b1	-		
0	fifo_b0	-		

1. 上电时或Set Default命令后，此寄存器内容被置为0。

1.3.28 FIFO状态寄存器2

地址：1Bh

类型：R

表53. FIFO状态寄存器2[(1)(2)]

位	名称	默认	功能	注释
7	-	-	-	-
6	fifo_unf	-	1：FIFO下溢出	当多于FIFO实际内容的字节被读取时，置位
5	fifo_ovr	-	1：FIFO上溢出	-
4	fifo_ncp	-	1：最末FIFO字节不完整	-
3	fifo_lb2	-	最后一个FIFO字节不完整（fifo_ncp=1）时，其中的位数	字节不完整时，LSB部分是有效的
2	fifo_lb1	-		
1	fifo_lb0	-		
0	np_lb	-	1：最后字节中奇偶校验位丢失	这是帧错误

1. 上电时或Set Default命令后，此寄存器内容被置为0。
2. 如果FIFO为空，则寄存器*FIFO状态寄存器1*（0x1Ah）值为0x00，寄存器块0x1Bh中的寄存器位fifo_ncp、fifo_lb2、fifo_lb1和fifo_lb0被清零。读取FIFO的正确步骤是，读取*FIFO状态寄存器1*和*FIFO状态寄存器2*，然后读取FIFO。如果FIFO中有不完整字节，则第二个寄存器值需要存入MCU。

1.3.29 冲突显示寄存器

地址：1Ch

类型：R

表54. 冲突显示寄存器(1)

位	名称	默认	功能	注释
7	c_byte3	-	发生位冲突前的完整字节数。	*冲突显示寄存器*范围覆盖了ISO14443A防冲突命令。较长消息中发生了冲突（或者将成帧错误理解为冲突）的情况下，*冲突显示寄存器*不置位。
6	c_byte2	-		
5	c_byte1	-		
4	c_byte0	-		
3	c_bit2	-	对于发生冲突的字节，发生冲突之前其中的位数	
2	c_bit1	-		
1	c_bit0	-		
0	c_pb	-	1：奇偶校验位冲突	这是错误，如果它是检测到的第一个冲突，则报告该错误

1. 上电时或Set Default命令后，此寄存器内容被置为0。

1.3.30 发送字节数寄存器1

地址：1Dh

类型：RW

表55. 发送字节数寄存器1(1)

位	名称	默认	功能	注释
7	ntx12	0	一个命令中待发送的完整字节数，MSB位	可支持的最大字节数为8191
6	ntx11	0		
5	ntx10	0		
4	ntx9	0		
3	ntx8	0		
2	ntx7	0		
1	ntx6	0		
0	ntx5	0		

1. 上电时以及Set Default命令后，进行默认设置。

1.3.31 发送字节数寄存器2

地址：1Eh

类型：RW

表56. 发送字节数寄存器2(1)(2)

位	名称	默认	功能	注释
7	ntx4	0	一个命令中待发送的完整字节数，MSB位	可支持的最大字节数为8191
6	ntx3	0		
5	ntx2	0		
4	ntx1	0		
3	ntx0	0		
2	nbtx2	0	被分割的字节中的位数 000意思是不存在分割字节（所有字节都是完整的）	适用于ISO14443A： 位定向防冲突帧，如果最后字节是分割字节Tx完成而无奇偶校验位产生
1	nbtx1	0		
0	nbtx0	0		

1. 上电时以及Set Default命令后，进行默认设置。
2. 如果anctl位置位而卡片处于空闲状态且nbtx不为000，那么i_par将在声明WUPA 直接命令时被触发。

1.3.32 NFCIP比特率检测显示寄存器

地址：1Fh

类型：R

表57. NFCIP比特率检测显示寄存器(1)

位	名称	默认	功能	注释
7	nfc_rate3	-	请参考*表 25*。	此寄存器存储NFCIP-1主动通信比特率检测模式下自动比特率检测的结果
6	nfc_rate2	-		
5	nfc_rate1	-		
4	nfc_rate0	-		
3	-	-	未使用	-
2	-	-		
1	-	-		
0	-	-		

1. 上电时或Set Default命令后，此寄存器内容被置为0。

1.3.33 A/D转换器输出寄存器

地址：20h

类型：R

表58. A/D转换器输出寄存器(1)

位	名称	默认	功能	注释
7	ad7	-	显示最后A/D转换的结果。	-
6	ad6	-		
5	ad5	-		
4	ad4	-		
3	ad3	-		
2	ad2	-		
1	ad1	-		
0	ad0	-		

1. 上电时或Set Default命令（见*表 9*）后，此寄存器内容被置为0。

1.3.34 天线校准控制寄存器

地址：21h

类型：RW

表59. 天线校准控制寄存器(1)

位	名称	默认	功能	注释
7	trim_s	0	0：LC微调开关由Calibrate Antenna命令的结果来定义，见*表 9* 1：LC微调开关由写入此寄存器中的位tre_x来定义	定义TRIMx引脚上开关的驱动源
6	tre_3	0	MSB	trim_s=1的情况下，LC微调开关由写入此寄存器的数据来定义。该位置为1可使TRIM1_x和TRIM2_x引脚上的晶体管导通。
5	tre_2	0	-	
4	tre_1	0	-	
3	tre_0	0	LSB	
2	-	0	-	-
1	-	0		
0	-	0		

1. 上电时以及Set Default命令后，进行默认设置。

1.3.35 天线校准目标寄存器

地址：22h

类型：RW

表60. 天线校准目标寄存器(1)

<table>
<tr><th>位</th><th>名称</th><th>默认</th><th>功能</th><th>注释</th></tr>
<tr><td>7</td><td>act7</td><td>1</td><td rowspan="8">定义Calibrate Antenna直接命令的目标相位，见表 9</td><td>-</td></tr>
<tr><td>6</td><td>act6</td><td>0</td><td>-</td></tr>
<tr><td>5</td><td>act5</td><td>0</td><td>-</td></tr>
<tr><td>4</td><td>act4</td><td>0</td><td>-</td></tr>
<tr><td>3</td><td>act3</td><td>0</td><td>-</td></tr>
<tr><td>2</td><td>act2</td><td>0</td><td>-</td></tr>
<tr><td>1</td><td>act1</td><td>0</td><td>-</td></tr>
<tr><td>0</td><td>act0</td><td>0</td><td>-</td></tr>
</table>

1. 上电时以及Set Default命令后，进行默认设置。

1.3.36 天线校准显示寄存器

地址：23h

类型：R

表61. 天线校准显示寄存器(1)

<table>
<tr><th>位</th><th>名称</th><th>默认</th><th>功能</th><th>注释</th></tr>
<tr><td>7</td><td>tri_3</td><td>-</td><td>MSB</td><td rowspan="4">此寄存器存储Calibrate Antenna命令的结果。trim_s = 0的情况下，LC微调开关由写入此寄存器的数据来定义。该位置为1表示TRIM1_x和TRIM2_x引脚上的相应晶体管被接通。</td></tr>
<tr><td>6</td><td>tri_2</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>5</td><td>tri_1</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>4</td><td>tri_0</td><td>-</td><td>LSB</td></tr>
<tr><td>3</td><td>tri_err</td><td>-</td><td>1：天线校准错误</td><td>当Calibrate Antenna时序未能调节共振时，置位</td></tr>
<tr><td>2</td><td>-</td><td>-</td><td rowspan="3">未使用</td><td rowspan="3">-</td></tr>
<tr><td>1</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>0</td><td>-</td><td>-</td></tr>
</table>

1. 上电时或Set Default命令后，此寄存器内容被置为0。

1.3.37 AM调制深度控制寄存器

地址：24h

类型：RW

表62. AM调制深度控制寄存器(1)

位	名称	默认	功能	注释
7	am_s	0	0：AM调制电平由位mod5至mod0来定义。该电平由Calibrate Modulation Depth命令自动调整，见*表 9* 1：AM调制电平由位dram7至dram0来定义。	-
6	mod5	0	MSB	关于AM调制电平定义的详细内容，见*第 1.2.20 节：AM 调制深度：定义和校准第 63 页*。
5	mod4	0	-	
4	mod3	0	-	
3	mod2	0	-	
2	mod1	0	-	
1	mod0	0	LSB	
0	-	0	-	-

1. 上电时以及Set Default命令后，进行默认设置。

1.3.38 AM调制深度显示寄存器

地址：25h

类型：R

表63. AM调制深度显示寄存器(1)

位	名称	默认	功能	注释
7	md_7	-	MSB	显示Calibrate Modulation Depth命令的结果。天线驱动器由8个二进制加权段组成。位md_x置为1表示此特殊段将在AM调制状态中禁用。 发生错误的情况下，置为全1值。
6	md_6	-	-	
5	md_5	-	-	
4	md_4	-	-	
3	md_3	-	-	
2	md_2	-	-	
1	md_1	-	-	
0	md_0	-	LSB	

1. 上电时或Set Default命令后，此寄存器内容被置为0。

1.3.39 RFO AM调制电平定义寄存器

地址：26h

类型：RW

表64. RFO AM调制电平定义寄存器(1)

位	名称	默认	功能	注释
7	dram7	0	2 Ohm	天线驱动器由8个二进制加权段组成。AM调制状态中，am_s位置为1的情况下，如果位dram置为1，将会禁用相应段。
6	dram6	0	4 Ohm	
5	dram5	0	8 Ohm	
4	dram4	0	16 Ohm	
3	dram3	0	32 Ohm	
2	dram2	0	64 Ohm	
1	dram1	0	128 Ohm	
0	dram0	0	256 Ohm	

1. 上电时以及Set Default命令后，进行默认设置。

1.3.40 RFO正常电平定义寄存器

地址：27h

类型：RW

表65. RFO正常电平定义寄存器(1)

位	名称	默认	功能	注释
7	droff7	0	2 Ohm	天线驱动器由8个二进制加权段组成。正常无调制操作过程中，如果位droff置为1，将会禁用相应段。 TX驱动器由8段组成，二进制权重为2至256 Ohm（标称）。 例如，将此寄存器置为0xC0会禁用2 Ohm和4 Ohm段。
6	droff6	0	4 Ohm	
5	droff5	0	8 Ohm	
4	droff4	0	16 Ohm	
3	droff3	0	32 Ohm	
2	droff2	0	64 Ohm	
1	droff1	0	128 Ohm	
0	droff0	0	256 Ohm	

1. 上电时以及Set Default命令后，进行默认设置。

寄存器27h应用值FFh，可使驱动器处于三态。

1.3.41 外部场检测阈值寄存器

地址：29h

类型：RW

表66. 外部场检测阈值寄存器(1)

位	名称	默认	功能	注释
7	-	0	未使用	-
6	trg_l2	0	对端检测阈值。 请参见*表 67*。	-
5	trg_l1	1		
4	trg_l0	1		
3	rfe_t3	0	防冲突阈值。 请参见*表 68*。	-
2	rfe_t2	0		
1	rfe_t1	1		
0	rfe_t0	1		

1. 上电时以及Set Default命令后，进行默认设置。

表67. RFI1输入上的对端检测阈值

trg_l2	trg_l1	trg_l0	目标对端检测 阈值电压（mV_{pp}，RFI1上）
0	0	0	75
0	0	1	105
0	1	0	150
0	1	1	205
1	0	0	290
1	0	1	400
1	1	0	560
1	1	1	800

表68. RFI1输入上的防冲突阈值

rfe_3	rfe_2	rfe_1	rfe_0	典型防冲突 阈值电压（mV_{pp}，RFI1上）
0	0	0	0	75
0	0	0	1	105
0	0	1	0	150
0	0	1	1	205
0	1	0	0	290
0	1	0	1	400
0	1	1	0	560

表68. RFI1输入上的防冲突阈值（续）

rfe_3	rfe_2	rfe_1	rfe_0	典型防冲突 阈值电压（mV_{pp}，RFI1上）
0	1	1	1	800
1	0	0	0	25
1	0	0	1	33
1	0	1	0	47
1	0	1	1	64
1	1	0	0	90
1	1	0	1	125
1	1	1	0	175
1	1	1	1	250

1.3.42 稳压器控制寄存器

地址：2Ah

类型：RW

表69. 稳压器控制寄存器(1)

位	名称	默认	功能	注释
7	reg_s	0	0：稳压值由Adjust Regulators命令的结果来定义 1：稳压值由写入此寄存器的rege_x位来定义	定义稳压设置的模式。
6	rege_3	0	外部定义稳压值。 关于定义，参考*表 71*。 5V模式下，V_{SP_D}和V_{SP_A}稳压器设置为3.4 V	-
5	rege _2	0		
4	rege _1	0		
3	rege _0	0		
2	mpsv1	0	00：V_{DD} 01：V_{SP_A} 10：V_{SP_D} 11：V_{SP_RF}	定义直接命令Measure Power Supply的电源。
1	mpsv0	0		
0	-	0	-	-

1. 上电时以及Set Default命令后，进行默认设置。

1.3.43 稳压器和定时器显示寄存器

地址：2Bh

类型：R

表70. 稳压器和定时器显示寄存器(1)

位	名称	默认	功能	注释
7	reg_3	-	实际稳压设置。 关于定义，参考*表 71*。	-
6	reg_2	-		
5	reg_1	-		
4	reg_0	-		
3	-	-	-	-
2	gpt_on	-	1：通用定时器运行	
1	nrt_on	-	1：无响应定时器运行	
0	mrt_on	-	1：掩码接收定时器运行	

1. 1. 上电时以及Set Default命令后，稳压值被设置为最大值3.4V。

表71. 稳压值

reg_3	reg_2	reg_1	reg_0	典型稳压值（V）	
rege_3	**rege_2**	**rege_1**	**rege_0**	**5 V模式**	**3.3 V模式**
1	1	1	1	5.1	3.4
1	1	1	0	4.98	3.3
1	1	0	1	4.86	3.2
1	1	0	0	4.74	3.1
1	0	1	1	4.62	3.0
1	0	1	0	4.50	2.9
1	0	0	1	4.38	2.8
1	0	0	0	4.26	2.7
0	1	1	1	4.14	2.6
0	1	1	0	4.02	2.5
0	1	0	1	3.90	2.4
其他组合				未使用	

1.3.44 RSSI显示寄存器

地址：2Ch

类型：R

表72. RSSI显示寄存器(1)(2)

位	名称	默认	功能	注释
7	rssi_am_3	-	AM通道RSSI峰值。其定义参考*表 73*。	存储AM通道RSSI测量的峰值。转发器消息开始时，使用Clear RSSI命令，可将其自动清零。
6	rssi_am_2	-		
5	rssi_am_1	-		
4	rssi_am_0	-		
3	rssi_pm_3	-	PM通道RSSI峰值。其定义参考*表 73*。	存储PM通道RSSI测量的峰值。转发器消息开始时，使用Clear RSSI命令，可将其自动清零。
2	rssi_pm_2	-		
1	rssi_pm_1	-		
0	rssi_pm_0	-		

1. 上电时或Set Default命令后，此寄存器内容被置为0。
2. 位0x30[7]指示在内部使用的逻辑中使用哪个RSSI值。

表73. RSSI

rssi_3	rssi_2	rssi_1	rssi_0	RFI1上的典型信号（mV_{rms}）
0	0	0	0	⩽20
0	0	0	1	>20
0	0	1	0	>27
0	0	1	1	>37
0	1	0	0	>52
0	1	0	1	>72
0	1	1	0	>99
0	1	1	1	>136
1	0	0	0	>190
1	0	0	1	>262
1	0	1	0	>357
1	0	1	1	>500
1	1	0	0	>686
1	1	0	1	>950
1	1	1	0	未使用
1	1	1	1	

1.3.45 增益减少状态寄存器

地址：2Dh

类型：R

表74. 增益减少状态寄存器(1)

位	名称	默认	功能	注释
7	gs_am_3	-	MSB	AM通道第二级的实际增益减少量（包括寄存器增益减少量、squelch和AGC）
6	gs_am_2	-	-	
5	gs_am_1	-	-	
4	gs_am_0	-	LSB	
3	gs_pm_3	-	MSB	PM通道第二级的实际增益减少量（包括寄存器增益减少量、squelch和AGC）
2	gs_pm_2	-	-	
1	gs_pm_1	-	-	
0	gs_pm_0	-	LSB	

1. 上电时或Set Default命令后，此寄存器内容被置为0。

1.3.46 电容传感器显示寄存器

地址：2Eh

类型：RW

表75. 电容传感器控制寄存器(1)

位	名称	默认	功能	注释
7	cs_mcal4	0	手动校准值。 全0值可使能自动校准模式	二进制加权，步长为0.1 pF，最大值为3.1 pF
6	cs_mcal3	0		
5	cs_mcal2	0		
4	cs_mcal1	0		
3	cs_mcal0	0		
2	cs_g2	0	000：2.8 V/pF 001：6.5 V/pF 010：1.1 V/pF 100：0.5 V/pF 110：0.35 V/pF 其他：不使用	电容传感器增益典型值
1	cs_g1	0		
0	cs_g0	0		

1. 上电时或Set Default命令后，此寄存器内容被置为0。

1.3.47 电容传感器显示寄存器

地址：2Fh

类型：R

表76. 电容传感器显示寄存器[(1)]

位	名称	默认	功能	注释
7	cs_cal4	-	电容传感器校准值	二进制加权，步长为0.1 pF，最大值为3.1 pF
6	cs_cal3	-		
5	cs_cal2	-		
4	cs_cal1	-		
3	cs_cal0	-		
2	cs_cal_end	-	1：校准结束	-
1	cs_cal_err	-	1：校准错误	-
0	-	-	-	-

1. 上电时或Set Default命令后，此寄存器内容被置为0。

1.3.48 辅助显示寄存器

地址：30h

类型：R

表77. 辅助显示寄存器[(1)]

位	名称	默认	功能	注释
7	a_cha	-	0：AM 1：PM	当前所选通道
6	efd_o	-	1：外部场检测	外部场检测器输出
5	tx_on	-	1：发送激活	-
4	osc_ok	-	1：晶体振荡稳定	表示晶体振荡器被激活并且其输出稳定
3	rx_on	-	1：接收编码器使能	-
2	rx_act	-	1：接收编码器正在接收消息	-
1	nfc_t	-	1：外部场检测器激活 处于对端检测模式	-
0	en_ac	-	1：外部场检测器激活 处于RF防冲突模式	-

1. 上电时或Set Default命令后，此寄存器内容被置为0。

1.3.49 唤醒定时器控制寄存器

地址：31h

类型：RW

表78. 唤醒定时器控制寄存器(1)

位	名称	默认	功能	注释
7	wur	0	0：100 ms 1：10 ms	唤醒定时器范围
6	wut2	0	请参考*表 79*。	唤醒定时器超时值
5	wut1	0		
4	wut0	0		
3	wto	0	1：每次超时，则发送IRQ	-
2	wam	0	1：每次超时，执行幅度测量	如果差值大于Δam，则发送IRQ
1	wph	0	1：每次超时，执行相位测量	如果差值大于Δpm，则发送IRQ
0	wcap	0	1：每次超时，执行电容量	如果差值大于Δcm，则发送IRQ

1. 上电时以及Set Default命令后，进行默认设置。

表79. 典型唤醒时间

wut2	wut1	wut0	100 ms范围（wur=0）	10 ms范围（wur=1）
0	0	0	100 ms	10 ms
0	0	1	200 ms	20 ms
0	1	0	300 ms	30 ms
0	1	1	400 ms	40 ms
1	0	0	500 ms	50 ms
1	0	1	600 ms	60 ms
1	1	0	700 ms	70 ms
1	1	1	800 ms	80 ms

1.3.50 幅度测量配置寄存器

地址：32h

类型：RW

表80. 幅度测量配置寄存器(1)

位	名称	默认	功能	注释
7	am_d3	0	Δam定义（到触发中断的参考值的差值）	-
6	am_d2	0		
5	am_d1	0		
4	am_d0	0		
3	am_aam	0	0：不包括IRQ测量 1：包括IRQ测量	包括/不包括自动取平均过程中引起IRQ的测量（到参考值的差值 > Δam）
2	am_aew1	0	00: 4 01: 8 10: 16 11: 32	定义自动取平均最后测量结果的权重
1	am_aew2	0		
0	am_ae	0	0：使用*幅度测量参考寄存器* 1：使用幅度测量自动平均值作为参考	选择幅度测量唤醒模式的参考值

1. 上电时以及Set Default命令后，进行默认设置。

1.3.51 幅度测量参考寄存器

地址：33h

类型：RW

表81. 幅度测量参考寄存器(1)

位	名称	默认	功能	注释
7	am_ref7	0	-	-
6	am_ref6	0	-	-
5	am_ref5	0	-	-
4	am_ref4	0	-	-
3	am_ref3	0	-	-
2	am_ref2	0	-	-
1	am_ref1	0	-	-
0	am_ref0	0	-	-

1. 上电时以及Set Default命令后，进行默认设置。

1.3.52 幅度测量自动取平均显示寄存器

地址：34h

类型：R

表82. 幅度测量自动取平均显示寄存器(1)

位	名称	默认	功能	注释
7	amd_aad7	0	-	-
6	amd_aad6	0	-	-
5	amd_aad5	0	-	-
4	amd_aad4	0	-	-
3	amd_aad3	0	-	-
2	amd_aad2	0	-	-
1	amd_aad1	0	-	-
0	amd_aad0	0	-	-

1. 上电时或Set Default命令后，此寄存器内容被置为0。

1.3.53 幅度测量显示寄存器

地址：35h

类型：R

表83. 幅度测量显示寄存器(1)

位	名称	默认	功能	注释
7	am_amd7	0	-	-
6	am_amd6	0	-	-
5	am_amd5	0	-	-
4	am_amd4	0	-	-
3	am_amd3	0	-	-
2	am_amd2	0	-	-
1	am_amd1	0	-	-
0	am_amd0	0	-	-

1. 上电时或Set Default命令后，此寄存器内容被置为0。

1.3.54 相位测量配置寄存器

地址：36h

类型：RW

表84. 相位测量配置寄存器(1)

位	名称	默认	功能	注释
7	pm_d3	0	Δpm定义（到触发中断的参考值的差值）	-
6	pm_d2	0		
5	pm_d1	0		
4	pm_d0	0		
3	pm_aam	0	0：不包括IRQ测量 1：包括IRQ测量	包括/不包括自动取平均过程中引起IRQ的测量（到参考值的差值 > Δpm）
2	pm_aew1	0	00: 4 01: 8 10: 16 11: 32	定义自动取平均最后测量结果的权重
1	pm_aew0	0		
0	pm_ae	0	0：使用*相位测量参考寄存器* 1：使用相位测量 自动平均值作为参考值	选择相位测量唤醒模式的参考值

1. 上电时以及Set Default命令后，进行默认设置。

1.3.55 相位测量参考寄存器

地址：37h

类型：RW

表85. 相位测量参考寄存器(1)

位	名称	默认	功能	注释
7	pm_ref7	0	-	-
6	pm_ref6	0	-	-
5	pm_ref5	0	-	-
4	pm_ref4	0	-	-
3	pm_ref3	0	-	-
2	pm_ref2	0	-	-
1	pm_ref1	0	-	-
0	pm_ref0	0	-	-

1. 上电时以及Set Default命令后，进行默认设置。

1.3.56 相位测量自动取平均显示寄存器

地址：38h

类型：R

表86. 相位测量自动取平均显示寄存器[(1)]

位	名称	默认	功能	注释
7	pm_aad7	0	-	-
6	pm_aad6	0	-	-
5	pm_aad5	0	-	-
4	pm_aad4	0	-	-
3	pm_aad3	0	-	-
2	pm_aad2	0	-	-
1	pm_aad1	0	-	-
0	pm_aad0	0	-	-

1. 上电时或Set Default命令后，此寄存器内容被置为0。

1.3.57 相位测量显示寄存器

地址：39h

类型：R

表87. 相位测量显示寄存器[(1)]

位	名称	默认	功能	注释
7	pm_amd7	0	0	-
6	pm_amd6	0	0	-
5	pm_amd5	0	0	-
4	pm_amd4	0	0	-
3	pm_amd3	0	0	-
2	pm_amd2	0	0	-
1	pm_amd1	0	0	-
0	pm_amd0	0	0	-

1. 上电时或Set Default命令后，此寄存器内容被置为0。

1.3.58 电容测量配置寄存器

地址：3Ah

类型：RW

表88. 电容测量配置寄存器(1)

位	名称	默认	功能	注释
7	cm_d3	0	Δcm定义（到触发中断的参考值的差值）	-
6	cm_d2	0		
5	cm_d1	0		
4	cm_d0	0		
3	cm_aam	0	0：不包括IRQ测量 1：包括IRQ测量	包括/不包括自动取平均过程中引起IRQ的测量（到参考值的差值 > Δcm）
2	cm_aew1	0	00: 4 01: 8 10: 16 11: 32	定义自动取平均最后测量结果的权重
1	cm_aew0	0		
0	cm_ae	0	0：使用*电容测量参考寄存器* 1：使用电容测量自动平均值作为参考	选择电容测量唤醒模式的参考值

1. 上电时以及Set Default命令后，进行默认设置。

1.3.59 电容测量参考寄存器

地址：3Bh

类型：RW

表89. 电容测量参考寄存器(1)

位	名称	默认	功能	注释
7	cm_ref7	0	-	-
6	cm_ref6	0	-	-
5	cm_ref5	0	-	-
4	cm_ref4	0	-	-
3	cm_ref3	0	-	-
2	cm_ref2	0	-	-
1	cm_ref1	0	-	-
0	cm_ref0	0	-	-

1. 上电时以及Set Default命令后，进行默认设置。

1.3.60 电容测量自动取平均显示寄存器

地址：3Ch

类型：R

表90. 电容测量自动取平均显示寄存器(1)

位	名称	默认	功能	注释
7	cm_aad7	0	-	-
6	cm_aad6	0	-	-
5	cm_aad5	0	-	-
4	cm_aad4	0	-	-
3	cm_aad3	0	-	-
2	cm_aad2	0	-	-
1	cm_aad1	0	-	-
0	cm_aad0	0	-	-

1. 上电时或Set Default命令后，此寄存器内容被置为0。

1.3.61 电容测量显示寄存器

地址：3Dh

类型：R

表91. 电容测量显示寄存器(1)

位	名称	默认	功能	注释
7	cm_amd7	0	-	-
6	cm_amd6	0	-	-
5	cm_amd_	0	-	-
4	cm_amd_	0	-	-
3	cm_amd3	0	-	-
2	cm_amd2	0	-	-
1	cm_amd1	0	-	-
0	cm_amd0	0	-	-

1. 上电时或Set Default命令后，此寄存器内容被置为0。

1.3.62 芯片ID寄存器

地址：3Dh

类型：R

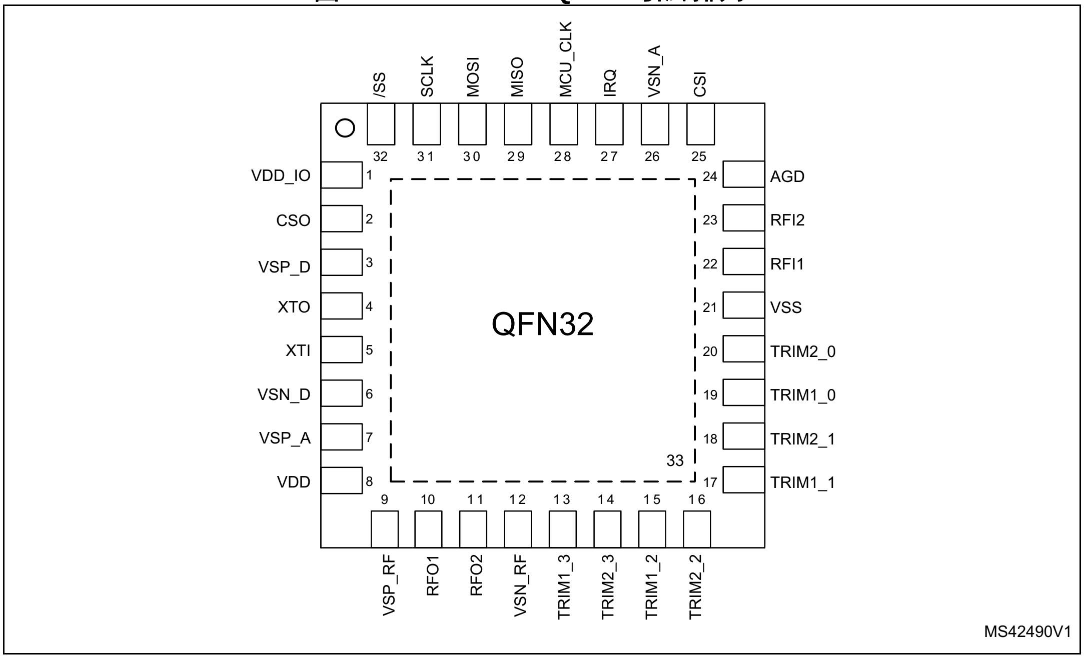
表92. IC身份寄存器

位	名称	默认	功能	注释
7	ic_type4	-	ST25R3911B的代码：00001	5位IC类型代码
6	ic_type3	-		
5	ic_type2	-		
4	ic_type1	-		
3	ic_type0	-		
2	ic_rev2	-	010：硅r3.1 011：硅r3.3 100：硅r4.0	3位IC修订代码
1	ic_rev1	-		
0	ic_rev0	-		

2 引脚排列和引脚说明

ST25R3911B引脚和焊盘分配的详细描述见*图 30* 。

图30. ST25R3911B QFN32引脚排列(1)



1. 上图显示了封装的顶视图。

表93. ST25R3911B 引脚定义 - QFN32封装

引脚号	引脚名称	引脚类型	说明
1	VDD_IO	电源焊盘	外设通信的正电源
2	CSO	模拟输出	电容器传感器输出
3	VSP_D		数字电源稳压器输出
4	XTO		晶体振荡器输出
5	XTI	模拟输入/数字输入	晶体振荡器输入
6	VSN_D	电源焊盘	数字接地
7	VSP_A	模拟输出	模拟电源稳压器输出
8	VDD	电源焊盘	外部正电源
9	VSP_RF	模拟输出	天线驱动器的电源稳压器输出
10	RFO1		天线驱动器输出
11	RFO2		
12	VSN_RF	电源焊盘	天线驱动器的地

表93. ST25R3911B 引脚定义 - QFN32封装（续）

引脚号	引脚名称	引脚类型	说明
13	TRIM1_3	模拟I/O	微调天线谐振电路的输入
14	TRIM2_3		
15	TRIM1_2		
16	TRIM2_2		
17	TRIM1_1		
18	TRIM2_1		
19	TRIM1_0		
20	TRIM2_0		
21	VSS	电源焊盘	地，晶片衬底电位
22	RFI1	模拟输入	接收器输入
23	RFI2		
24	AGD	模拟I/O	模拟参考电压
25	CSI	模拟输入	电容传感器输入
26	VSN_A	电源焊盘	模拟接地
27	IRQ	数字输出	中断请求输出
28	MCU_CLK		微控制器时钟输出
29	MISO	数字输出/三态	串行外设接口数据输出
30	MOSI	数字输入	串行外设接口数据输入
31	SCLK		串行外设接口时钟
32	/SS		串行外设接口使能（激活为低电平）
33	VSS	电源	地，晶片衬底电位，连接到PCB上的V_{SS}

3 电气特性

3.1 绝对最大额定值

如果加在器件上的载荷超过*表 94*、*表 95*和*表 96*中列出的值，则可能导致器件永久损坏。这些只是载荷额定值。

在这些或其他任何超出*第 3.2 节：工作条件*中所示的条件下，都不能保证器件的功能操作正常。长期处在绝对最大额定值的条件下会影响器件的可靠度。

表94. 电气参数

符号	参数	最小值	最大值	单位	注释
V_{DD}	DC供电电压	-0.5	6.0	V	-
V_{DD_IO}	DC_IO供电电压	-0.5	6.0	V	-
V_{INTRIM}	TRIM引脚的输入引脚电压	-0.5	25.0	V	-
V_{IN}	外设通信引脚的输入引脚电压	-0.5	6.5	V	-
V_{INA}	模拟引脚的输入引脚电压	-0.5	6.0	V	-
I_{scr}	输入电流（闭锁抑制）	-100	100	mA	Norm：JEDEC 78
I_{outmax}	输出驱动器的驱动能力	0	600	mA	-

表95. 静电放电

符号	参数	最小值	最大值	单位	注释
ESD	静电放电	±2		kV	标准JS-001-2014（人体模型）
		±500		V	标准JS-001-2014（人体模型） 对TRIMx_x引脚（引脚13 - 20）有效

表96. 温度范围和存储条件

符号	参数	最小值	最大值	单位	注释
T_{strg}	存储温度	-55	125	°C	-
T_{body}	封装体温度	-	260	°C	回流峰值焊接温度（体温度）根据IPC/JEDEC J-STD-020“ 非密封固态表面贴装器件的湿度/回流灵敏度分类”来规定。 无铅引线封装的铅镀层为“雾锡”（100%锡）。
RH_{NC}	相对湿度 非冷凝	5	85	%	-
MSL	湿度灵敏度等级	3		-	表示最大落地寿命为168 h

3.2 工作条件

所有限制都能确保满足。这些参数具有最小和最大值，由产品测试或SQC（统计质量控制）方法来保证。

在本规范中，外部元件的所有定义容差需要在全部工作条件范围以及整个寿命期内都能得到保证。

表97. 工作条件

符号	参数	最小值	最大值	单位	注释
V_{DD}	正供电电压	2.4	5.5	V	电源供电低于2.6 V的情况下，无法利用内部稳压器（最小稳压值为2.4 V）来提高PSSR。
V_{DD_IO}	外设通信供电电压	1.65	5.5	V	
V_{SS}	负供电电压	0	0	V	-
V_{INTRIM}	输入引脚电压 TRIM引脚	-	20	V	-
T_{JUN}	结温	-40	125	°C	-
V_{RFI_A}	RFI输入幅度	0.150	3	V_{pp}	最小RFI输入信号定义适用于NFC接收模式。在HF读卡器模式和NFC发送模式下，建议信号电平为2.5 V_{pp}。
RFO	驱动器电流	0	500	mA	-

3.3 数字输入和输出的DC/AC特性

3.3.1 CMOS输入

对于输入引脚\SS、MOSI和SCLK有效。

表98. CMOS输入

符号	参数	最小值	最大值	单位
V_{IH}	高电平输入电压	0.7 * V_{DD_IO}	V_{DD_IO}	V
V_{IL}	低电平输入电压	V_{SS}	0.3 * V_{DD_IO}	V
I_{LEAK}	输入泄漏电流	-1	1	μA

3.3.2 CMOS 输出

对于输出引脚MISO、IRQ和MCU_CLK有效，io_18=0（*IO配置寄存器2*）。

表99. CMOS 输出

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
V_{OH}	高电平输出电压	$I_{SOURCE/SINK}$ = 1mA，在V_{DDIO} = 2.4 V时测量	0.9 * V_{DD_IO}	-	V_{DD_IO}	V
V_{OL}	低电平输出电压	$I_{SOURCE/SINK}$ = 0.5 mA，在V_{DDIO} = 1.65 V时测量	0	-	0.1 * V_{DD_IO}	V

表99. CMOS 输出（续）

符号	参数	条件	最小值	典型值	最大值	单位
C_L	容性负载	-	0	-	50	pF
R_O	输出电阻	-	0	250	550	Ω
R_{PD}	下拉电阻 引脚MISO	MISO输出为三态时，可使能下拉。 其激活由寄存器设置来控制。	5	10	15	kΩ

3.4 电气规格

除非特别说明，否则 V_{DD} = 3.3 V，温度为25 °C。

3.3 V供电模式，稳压值设置为3.4 V，27.12 MHz 晶体连接到XTO和XTI。

表100. 电气规格

符号	参数	最小值	典型值	最大值	单位	注释
I_{PD}	掉电模式下的供电电流	0.2	0.7	2	µA	寄存器00h置为0Fh（MCU_CLK上无时钟），寄存器01h置为80h（3 V供电模式），寄存器02h置为00h，寄存器03h 置为08h，其他寄存器为其默认状态。
I_{NFCT}	初始NFC目标模式的供电电流	2.2	3.5	7	µA	寄存器00h置为0Fh（MCU_CLK上无时钟），寄存器01h置为80h（3 V供电模式），寄存器02h置为00h，寄存器03h置为08h （使能NFC目标模式），其他寄存器为其默认状态。
I_{WU}	唤醒模式下的供电电流	1.6	3.6	8	µA	寄存器00h置为0Fh（MCU_CLK上无时钟），寄存器01h置为80h（3 V供电模式），寄存器02h置为04h（使能唤醒模式），寄存器03h置为08h，寄存器31h置为08h（100 ms超时，每次超时发送IRQ），其他寄存器为其默认状态。
I_{CS}	电容传感器供电电流	0.6	1.1	2	mA	寄存器00h置为0Fh（MCU_CLK上无时钟），寄存器01h置为80h（3 V供电模式），寄存器02h置为00h，模拟测试模式14，其他寄存器为其默认状态。
I_{RD}	就绪模式下的供电电流	4.0	5.4	7.5	mA	寄存器00h置为0Fh（MCU_CLK上无时钟），寄存器01h置为C0h （3 V供电模式，禁用VSP_D），寄存器02h置为80h，寄存器03h置为08h，其他寄存器为其默认状态，短路VSP_A和VSP_D。
I_{AL}	供电电流， 全部激活	6.2	8.7	12.5	mA	寄存器00h置为0Fh，寄存器01h置为C0h（3 V供电模式，禁用VSP_D），寄存器02h置为E8h（单通道Rx，使能Tx），寄存器03h置为08h，寄存器0Bh置为00h，寄存器27h置为FFh（禁用所有RFO段），其他寄存器为其默认状态，短路VSP_A和VSP_D。

表100. 电气规格（续）

符号	参数	最小值	典型值	最大值	单位	注释
I_{LP}	供电电流， 全部激活， 低功耗接收器模式	4.8	6.8	10	mA	寄存器00h置为0Fh，寄存器01h置为C0$_h$（3 V供电模式，禁用VSP_D），寄存器02h置为E8h（单通道Rx，使能Tx），寄存器03$_h$置为08，寄存器0B$_h$置为80（低功耗模式），寄存器27h置为FFh（禁用所有RFO段），其他寄存器为其默认状态，短路VSP_A和VSP_D。
R_{RFO}	RFO1和RFO2驱动器输出电阻	0.25	0.6	1.8	Ω	I_{RFO} = 10 mA 使用以下测量步骤（删去了测量设置电阻）： – 所有驱动器段开，测量电阻， – 除了MSB段之外，所有驱动器段开，测量电阻， – 两次测量之差为MSB段的电阻， – MSB段电阻乘以2，是R_{RFO}的值。
Z_{load}	Load impedance across RFO1和RFO2上的负载阻抗	8	10	50	Ω	使用低于最小值的负载阻抗可能会导致器件永久损坏
V_{RFI}	RFI输入灵敏度	-	0.5	-	mV_{rms}	f_{SUB}=848 kHz，AM通道，选择了峰值检测器输入级。
R_{RFI}	RFI输入电阻	5	10	15	kΩ	-
V_{POR}	上电复位电压	1.31	1.5	1.75	V	-
V_{AGD}	AGD电压	1.4	1.5	1.6	V	寄存器00h置为0Fh（MCU_CLK上无时钟），寄存器01h置为C0h（3V供电模式，禁用VSP_D），寄存器02h置为80h，寄存器03h置为08h，其他寄存器为其默认状态，短路VSP_A和VSP_D。
V_{REG}	稳压值	2.80	3.0	3.32	V	手动稳压模式，引脚VSP_RF上测得的稳压值设置为3.0 V：寄存器00h置为0Fh，寄存器01h置为80h（3 V供电模式），寄存器02h置为E8h（单通道Rx，使能Tx）寄存器2A$_h$置为D8$_h$。
T_{OSC}	振荡器 启动时间	0.65	0.7	10	ms	13.56 MHz或27.12 MHz晶振ESR_{MAX}= 150 Ω最大值，负载电容根据晶振规格设置，振荡器频率稳定后发出IRQ。此参数随ESRMAX参数而变化。

3.5 典型工作特性

3.5.1 热阻和最大功率耗散

图31. T_{CASE} vs. T_{amb} = 25°C时不同铜片面积的功率耗散

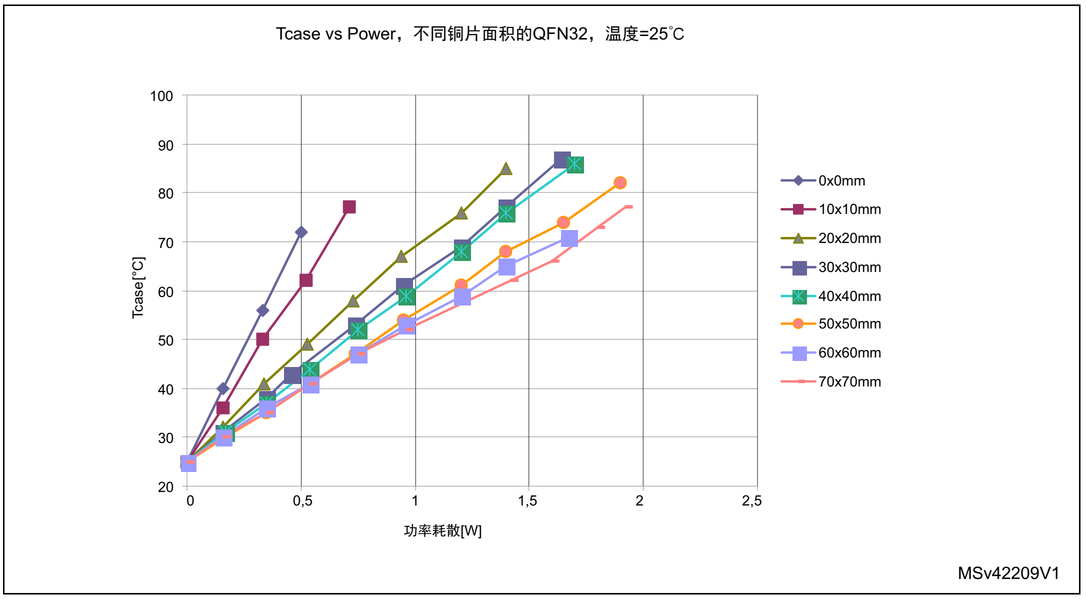
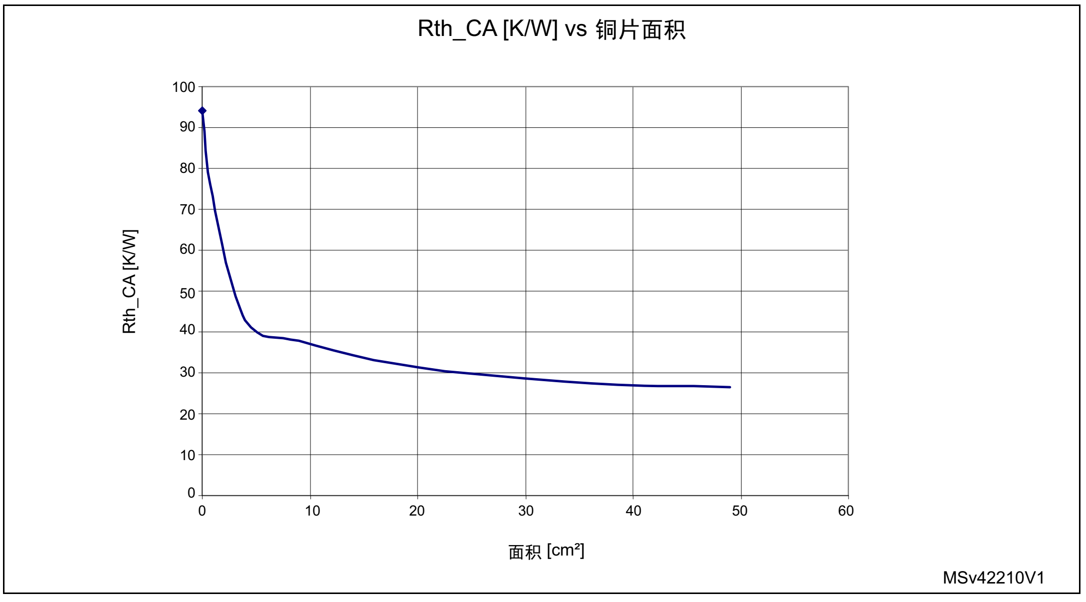


图32. R_{thCA} vs. 铜片面积



4 封装信息

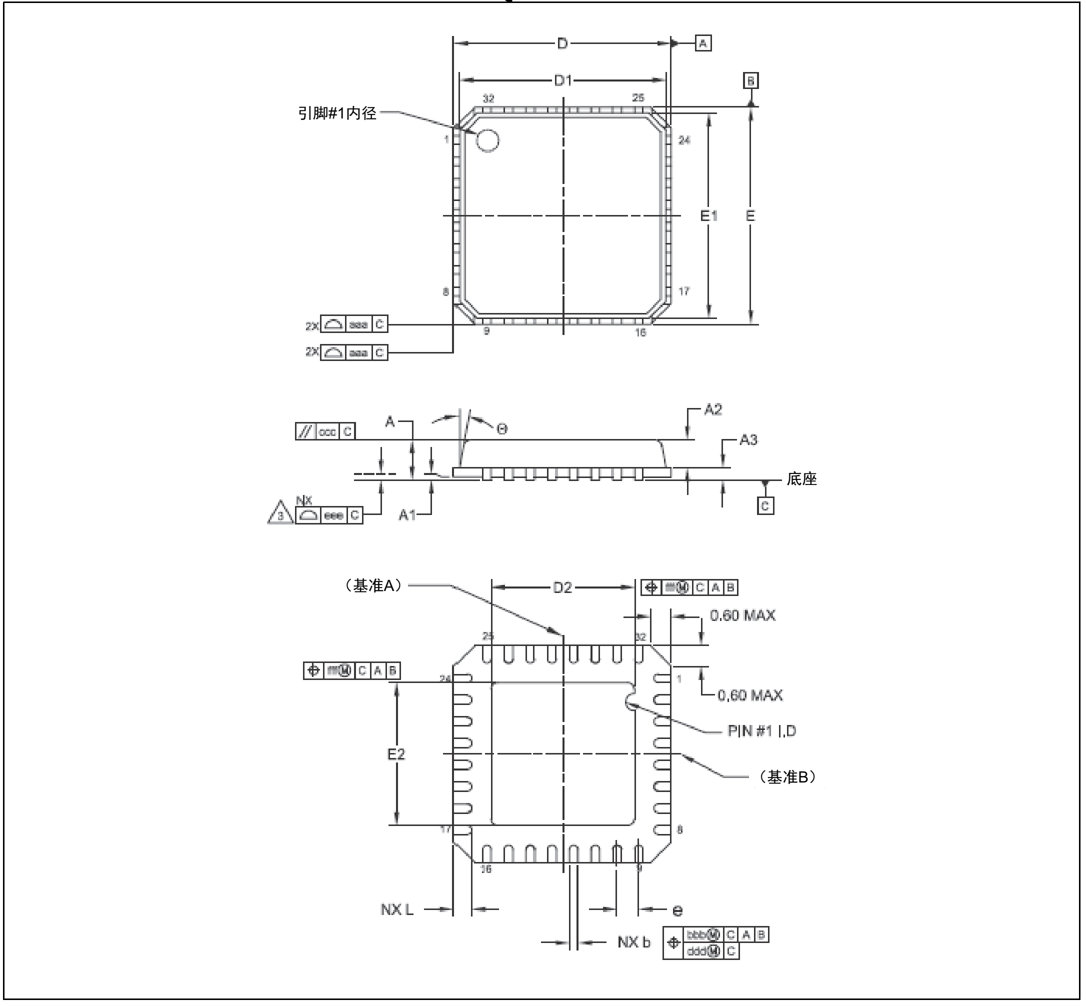
为满足环境要求，意法半导体为这些器件提供了不同等级的ECOPACK®封装，具体取决于它们的环保合规等级。ECOPACK®的规格、等级定义和产品状态可在www.st.com上查询。

ECOPACK®是意法半导体的商标。

4.1 QFN32封装信息

ST25R3911B 可用于32引脚QFN（5 mm x 5 mm）封装（见图 33）。尺寸的详细描述见表 101。

图33. QFN32封装图



1. 尺寸和容差符合ASME Y14.5M-1994。
2. 共面性适用于暴露的散热基座和端子。
3. 端子半径是可选的。
4. N是端子总数。
5. 此图若有更改，恕不另行通知。

表101. QFN32 5 mm x 5 mm尺寸[(1)]

符号 （如*图 33*中所指定）	最小值	典型值	最大值
A	0.80	0.90	1.00
A1	0	0.02	0.05
A2	-	0.65	1.00
A3	-	0.20	-
L	0.35	0.40	0.45
q	0º	-	14º
b	0.18	0.25	0.30
D	-	5.00（带BSC）	-
E	-	5.00（带BSC）	-
e	-	0.50（带BSC）	-
D2	3.40	3.50	3.60
E2	3.40	3.50	3.60
D1	-	4.75（带BSC）	-
E1	-	4.75（带BSC）	-
aaa	-	0.15	-
bbb	-	0.10	-
ccc	-	0.10	-
ddd	-	0.05	-
eee	-	0.08	-
fff	-	0.10	-
N[(2)]	32		

1. 所有尺寸都以毫米为单位。所有角度以度数为单位。
2. 端子总数。

5 器件型号

表102. 订购信息方案

示例： ST25 R 39 11B - A QF T

设备类型

ST25 = NFC/RFID标签和读卡器

产品类型

R = 读卡器

频率范围

39 = HF产品

产品特性

11B = 高性能 HF高读卡器 / NFC发起设备，1.4 W ，支持VHBR和 AAT

温度范围

A = -40 °C 至 125 °C

封装/封装方式

QF = 32引脚 QFN（5 mm x 5 mm）

卷带和盘装

T = 4000 pcs/reel

注： *标记为“ES”，“E”或伴随有工程样片通知书的部分，意为尚无品质检测，因此不能用于生产，由此产生的任何后果都与ST无关。在任何情况下，ST都不负责这些工程样片的客户生产使用。在决定使用这些工程样片运行品质检测之前，必须联系ST质量部门。*

表103. 订货代码（未切割晶圆）(1)

示例： ST25 R 39 11B - A SW B

设备类型

ST25 = NFC/RFID标签和读卡器

产品类型

R = 读卡器

频率范围

39 = HF产品

产品特性

11B = 高性能HF读卡器 / NFC发起设备，1.4 W，支持VHBR和AAT

温度范围

A = -40 °C 至 125 °C

交付形式

SW = 分类晶圆

交付方法

B = 晶圆盒

1. 关于FST25R3911B未切割晶圆的所有信息，请联系您最近的ST销售办事处。

6 版本历史

表104. 文档版本历史

日期	版本	变更
2016年9月26日	1	初始版本。
2016年12月16日	2	封面更新了文件标题和图片。 更新了*特性*和*说明*。 更新了*第 1节：功能概述*、*第 1.1.1节：发射器*、*第 1.1.2节：接收器*、*第 1.1.3节：相位和幅度检测器*、*第 1.1.5节：电容传感器*、*第 1.1.7节：石英晶体振荡器*、*第 1.1.8节：电源稳压器*、*第 1.1.9节：POR和Bias*、*第 1.1.10节：RC振荡器和唤醒定时器*、*第 1.2.2节：发射器*、*解调级*、*滤波和增益级*、*数字级*、*Squelch*、*NFCIP-1主动通信模式下的接收器*、*第 1.2.4节：电容传感器*、*第 1.2.5节：唤醒模式*、*自动取平均*、*第 1.2.8节：A/D转换器*、*第 1.2.12节：利用外部微控制器进行通信*和*第 4节：封装信息*。 增加了*第 1.2.13节：直接命令*。 更新了*表 11：寄存器预设位*和*表 17：寄存器映射*。更新了 *表 18：IO配置寄存器1*、*表 21：模式定义寄存器*、*表 28：ISO14443B设置寄存器1*、*表 34：辅助定义寄存器*、*表 36：接收器配置寄存器2*、*表 37：接收器配置寄存器3*、*表 42：通用和无响应定时器控制寄存器*、*表 46：屏蔽主中断寄存器*、*表 47：屏蔽定时器和NFC中断寄存器*、*表 48：屏蔽错误和唤醒中断寄存器*、*表 51：错误和唤醒中断寄存器*、*表 53：FIFO状态寄存器2*、*表 54：冲突显示寄存器*、*表 56：发送字节数寄存器2*、*表 59：天线校准控制寄存器*、*表 64：RFO AM调制电平定义寄存器*、*表 65：RFO正常电平定义寄存器*、*表 66：外部场检测阈值寄存器*、*表 69：稳压器控制寄存器*、*表 70：稳压器和定时器显示寄存器*、*表 72：RSSI显示寄存器*、*表 75：电容传感器控制寄存器*、*表 77：辅助显示寄存器*、*表 80：幅度测量配置寄存器*、*表 84：相位测量配置寄存器*、*表 88：电容测量配置寄存器*、*表 92：IC身份寄存器*、*表 93：ST25R3911B引脚定义QFN32封装*、*表 95：静电放电*、*表 100：电气规格*、*表 102：订购信息方案*和*表 103：订货代码（未切割晶圆）*。 从*表 30：最小TR1编码*中删除了脚注。 更新了*第 1.2.3节：接收器*图4，*第 1.2.11节：电源供电系统*中图8，*第 1.2.12节：利用外部微控制器进行通信*中图10至18，*NFC Field ON命令*中图19和20，*设置ST25R3911B实现ISO 14443A防冲突*中图22，*第 1.2.18节：FeliCa™ 读卡器模式*中图24 和*第 1.2.21节：天线调谐*中图26。 更新了*图 30：ST25R3911B QFN32引脚排列*(1)。 未更新*图 33：QFN32封装图*和*表 101：QFN325mmx5mm尺寸*的标题。

表105. 中文文档版本历史

日期	版本	变更
2018年4月4日	1	中文初始版本。