

如何保护 ST25 标签不受无线充影响

引言

本文档描述了一种可以加到标签上与 ST25 器件一起使用的保护措施，以防止无线电源充电器（如 Qi 或其他感应电能传输技术）造成的损坏。本文详细说明了保护措施对标签天线设计的影响 - 无论是在设计新天线时，还是在改造现有天线时。

1 问题描述

无线充电是由一个负责产生电磁场的功率发射器（PTx）和一个负责将电磁场转换为其负载可用的电功率的功率接收器（PRx）组成。该领域应用最广泛的技术是由无线充电联盟（WPC）开发的 Qi 标准。

图 1. 无线充电



RFID/NFC 标签是根据 ISO/IEC 14443、ISO/IEC15693 和 NFC Forum 等标准规范设计的。

如果 RFID/NFC 标签被置于 PTx 工作范围内，它可能暴露在超过标准规范（它就是根据这些标准规范设计的）所定义的极限值的功率等级中，导致被破坏。

即使基于 ST25 的标签在面对该效应时表现出比市场上其他标签更好的抵抗力，当它们被置于一个功率为 15W 的 Qi 充电系统中时，也可能被破坏。

如果应用中配备 NFC 功能（用于通信）的系统被置于感应充电器的工作范围内，就会出现这样的问题。其他的例子有：

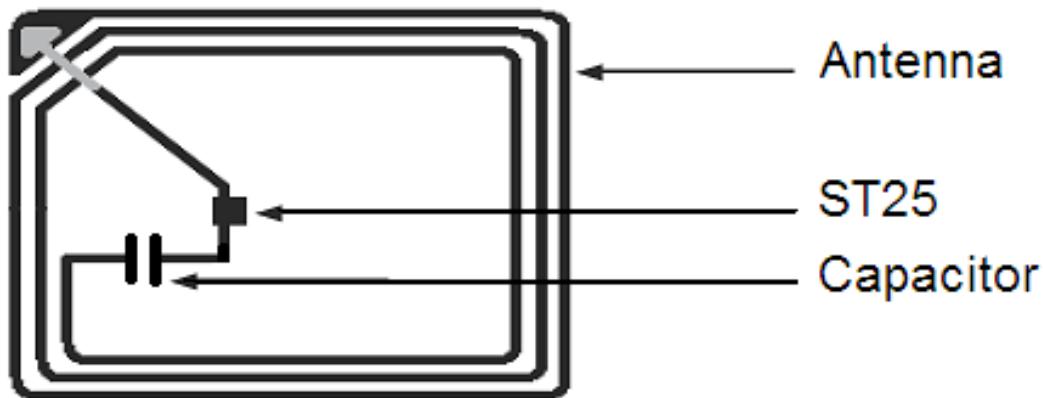
- 当一款内嵌双接口 NFC 芯片的可无线充电电池（如 ST25DV）与充电器或手机交换信息的情况下。
- 一款内嵌 NFC 芯片可无线充电的蓝牙®耳机（如 ST25TV）在蓝牙®配对的情况下。

可以运用一种简单且经济划算的解决方案保护 ST25 器件。

2 保护措施描述

保护措施是在标签天线和标签 IC 之间增加一个串联的电容元件。在基于 PCB 的设计中，电容元件是一个分立电容。在嵌入片上，以电容模的形式为器件提供保护。

图 2. 带有功率传输保护元件的标签



当标签位于功率传输的工作范围内时，会发生以下情况：

- 感应 PTx 发出一个低频（低于 200kHz，通常在 120kHz 左右）信号，可能带有高功率。
- ST25 的设计目的是在非常大的磁场强度范围内工作，但其频率固定为 13.56 MHz。其内部电压调节电路对低频（LF）信号的影响可以忽略不计，从而使高电压到达芯片内部。

这就是必须将 PTx 发送的低频信号过滤掉的原因。与天线串联的电容元件作为高通滤波器，其截止频率在功率发射器频率和 ST25 工作频率之间选择。

选择的电容值必须确保：

- 将 PTx 在 ST25 AC0、AC1 引脚处感应的电压限制在芯片的最大额定值内
- 保持 RFID/NFC 系统的性能

3 如何衡量标签上的 PTx 风险

PTx 产生的磁场通过标签天线转换成电压。图 3 说明了存在磁场时的 NFC/RFID 标签等效模型。

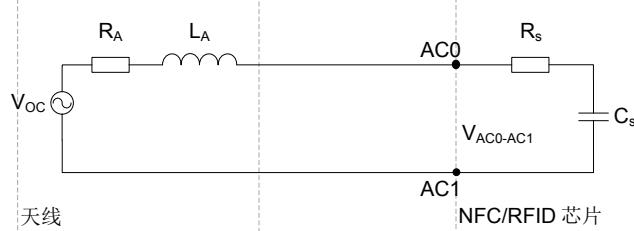
环形天线模型包括：

- V_{oc} : 由天线传输的开路电压，其取决于磁场强度、天线尺寸和匝数
- R_A : 等效天线串联电阻
- L_A : 由 $L_A = X_a / \omega$ 定义的等效电感，其中的 X_a 是天线电抗

NFC / RFID 芯片模型包括：

- R_S : 芯片输入级的串联电阻分量
- C_S : 芯片输入级的串联电容分量

图 3. 存在磁场时的 NFC/RFID 标签等效模型



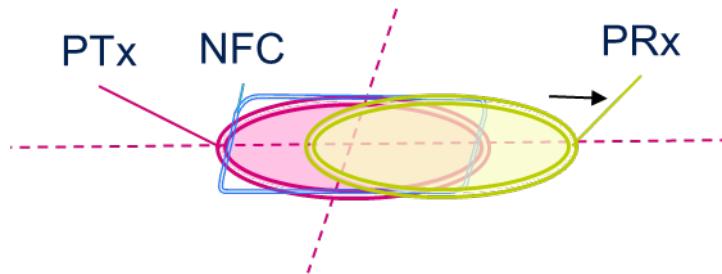
在没有 RFID/NFC 芯片的情况下，可以通过测量标签天线引脚处的电压来衡量 PTx 对标签的影响。事实上在没有芯片的时候，电路开路 $V_{AC0} - V_{AC1} = V_{oc}$

如需测量 V_{oc} :

- 在 PTx 和 PRx 之间的功率传输系统中放置没有 RFID 芯片的标签天线
- 通过示波器使用一个差分探头或使用两个探头（接地端连接在一起且浮空（不连接到任何其他点））探测天线引脚。警告：天线电压可能高达 100 Vpp，用户必须确保探头和示波器输入能够维持该电压。

最坏的情况是：当 PRx 负载值最小时，15W 电能传输已设置且保持不变，并且 PRx 在天线平面上非常缓慢地滑离 PTx，如图 4 所示。

图 4. 对于 NFC 标签来说最坏的充电情况



这是因为 PRx 接收到的功率越来越少，因此请求 PTx 发送更多能量来弥补该损失。当 PRx 缓慢移开时，磁场增加，直到 PTx 和 PRx 之间的通信中断或 PTx 超过其最大功率限值。这就是即使 PRx 上的低负载也会导致 PTx 产生高磁场的原因。

我们认为值 $V_{oc} = 100 V$ 是观察到的最坏情况。

如果该电压超过下表中提供的最大额定值，必须采取保护措施以避免标签损坏。

表 1. ST25 系列的电压限值

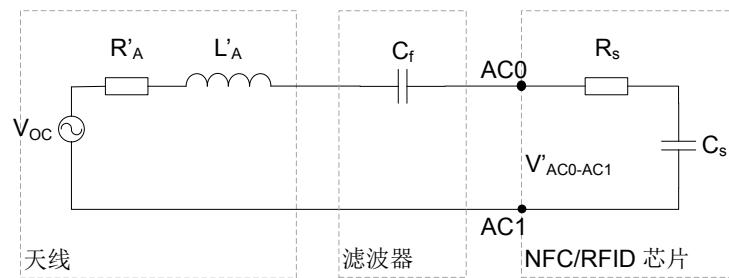
ST25 系列	最大 $V_{oc, peak-peak}$ (V)
ST25TV, ST25DV	5.5
ST25TA	4.0

4

如何选择保护电容值

这是带附加串联电容（用于过滤低频信号）的标签的等效模型。

图 5. 带滤波器的标签的等效模型



高 C_f 值更有助于将对天线设计和品质因子的影响降至最低，而更低的 C_f 值更有助于将功率变送器引起的损坏风险降至最低。下表对此进行了总结。

表 2. C_f 值对标签系统的影响

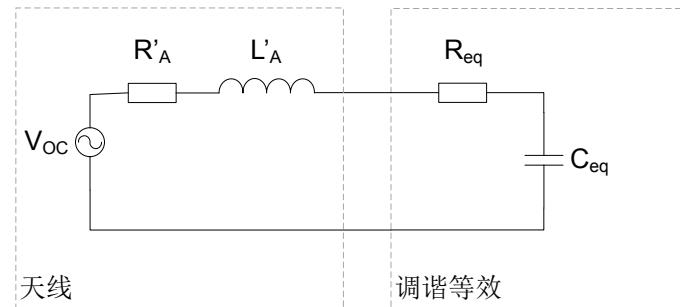
C_f 值	低	高
天线失谐	高	低
LF 保护	高	低

4.1 C_f 对 NFC 标签调谐的影响

本节描述 C_f 对 13.56 MHz 天线调谐的影响。

调谐天线时可以考虑增加 C_f 以改变复数阻抗。

图 6. 带滤波器的标签的等效模型（用于天线调谐）



电容值 C_{eq} 的计算公式如下：

$$C_{eq} = \frac{C_f C_s}{C_f + C_s}$$

C_s 的值在 ST25 数据表中以“内部调谐电容”的形式提供。下表汇总了各种 ST25 产品的值。

表 3. ST25 器件的内部调谐电容

设备	内部调谐电容 (pF)
ST25DV-xxx-xxxxx3	28.5
ST25TV64K-xxxx3	
ST25TA02KB-xxxx5	50
ST25TA512B-xxxxx5	
ST25TA16K-xxxx3	25
ST25TA64K-xxxx3	
ST25TV02K-xxxx3	23.5
ST25TV02K-xxxx9	97

下面两个图表显示了总等效串联电容 C_{eq} 与面向不同 ST25 芯片内部调谐电容值 C_{chip} 的滤波电容 C_f 的函数关系。

图 7. 等效电容 (低 C_{chip})

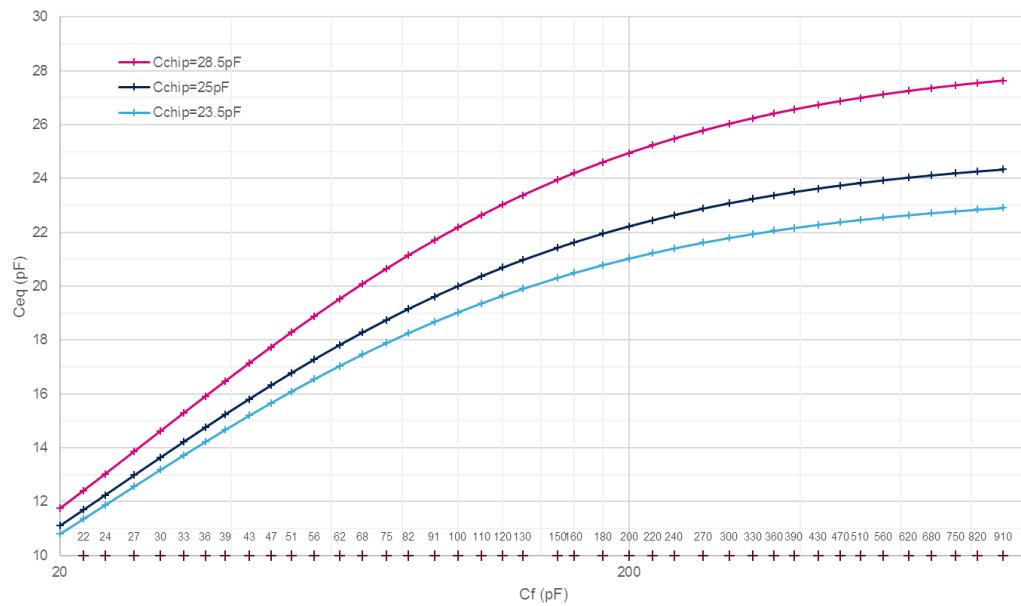
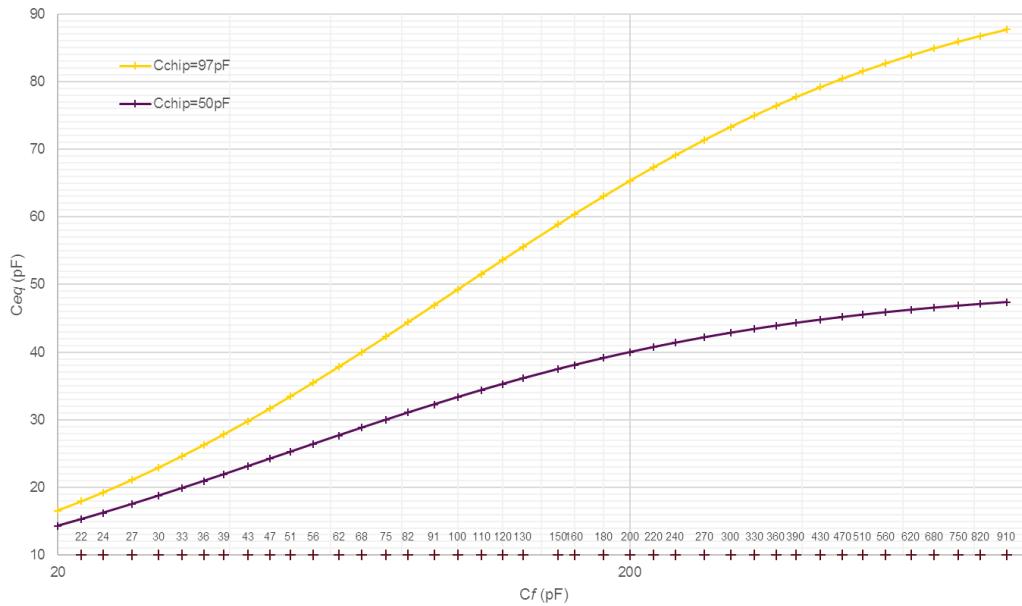


图 8. 等效电容 (高 C_{chip})

综上所述，这些图形表明较高的 C_f 对总等效串联电容的影响较小，因此对天线调谐和标签特性的影响也较小。

4.2 设计新天线时要考虑滤波器因素

设计带有串联电容滤波器 C_f 的天线的过程与单独设计标签 IC 的过程相同，不过在计算正确的天线电感 L_a 时，要考虑 IC 调谐电容 C_s ，而在计算正确的天线电感 L_a' 时要考虑等效调谐电容 C_{eq} 。

如需详细信息，请参阅 AN2866 “如何设计用于 ST25 NFC/RFID 标签的 13.56 MHz 定制化天线”。

4.3 改造现有天线，考虑添加滤波器

如果改造现有带天线的标签并考虑添加滤波器，重要的是要知道如何改造天线以补偿电容值 C_f 。前一章节表明， C_f 值越低，则天线需要的校正越多。

下文将使用下列术语：

L_a 和 R_a : 在无滤波器的标签中使用的天线的等效电感和电阻。

L_a' 和 R_a' : 在带滤波器的标签中使用的天线的等效电感和电阻。

4.3.1 新天线电感

为了在使用电容滤波器 C_f 时保持标签调谐频率，必须将天线电感改为：

$$L_a' \approx \frac{C_f + C_s}{C_f} L_a$$

至于天线几何形状，增加串联电容 C_f 需要增加匝数以补偿串联等效电容 C_{eq} 减小带来的影响。

4.3.2 对芯片电压的影响

$V_{\text{AC1-AC0}}$ 被标签用于远程供电，因此性能的关键操作点是允许芯片上电复位的值。

为评估当标签到接收弱 RFID / NFC 信号时滤波器对性能的影响，性能的变化（带滤波器和不带滤波器）用带滤波器的系统中芯片天线处的电压与无滤波器的系统中的电压之比来表示。

假设 L_a' 是根据第 4.3.1 节 新天线电感选择的，而且考虑到在谐振频率下工作，该增益表达为：

$$\frac{V'_{AC0-AC1}(\omega_0)}{V_{AC0-AC1}(\omega_0)} \approx \frac{R_s + R_a}{R_s + R'_a}$$

该表达式表明：如果 R_a' 等于或非常接近 R_a ，读取距离相等；如果 R_a' 与 R_s 和 R_a 相比明显增加，读取距离变短。如第 4.3 节 改造现有天线，考虑添加滤波器中可见，当 C_f 的值接近 C_s 的值时，需要增加许多天线匝数，这将大大增加天线的电阻，从而缩短标签的读取距离。

然而，应用测试表明：仅当 C_f 的值非常接近 C_s 的值时，该影响才确实存在。因此，除非 LF 电压确实需要，否则使用的 C_f 值最好高于 C_s 两倍。

4.3.3 对标签品质因子的影响

标签品质因子对负载效应有影响，也被 NFC Forum 规范称为“目标设备对操作场的影响”。由于该值受 RFID/NFC 规范的限制，因此如何表述标签品质因子对新天线的影响是非常有趣的。

如果 L_a' 是根据第 4.3.1 节 新天线电感选择的，标签的新品质因子表达式如下：

$$Q'_{tag} \approx Q_{tag} \frac{C_f + C_s}{C_f} \cdot \left(1 - \frac{\Delta R_a}{R'_a + R_s}\right)$$

其中：

$$\Delta R_a = R'_a - R_a$$

该表达式表明，如果 $C_f \gg C_s$ 且 $R'_a \approx R_a$ ，品质因子相等；否则，品质因子增大。因此，如果 C_f 与 C_s 相当，并且增加了许多天线匝数，负载效应会显著增加。

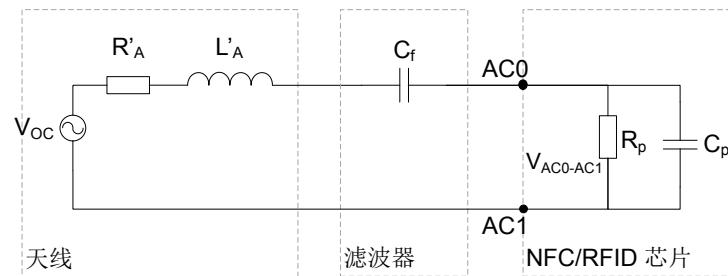
注意，由于滤波电容器的存在，标签品质因子的变化与读取距离性能的变化无关：在 C_f 之前（而不是在芯片级），电压确实随 Q_{tag} 而上升。

4.4 Cf 对 PTx 保护的影响

本节描述 C_f 值对针对 PTx 低频信号的防护有效性的影响。

$V_{AC0-AC1}$ 的值可以表示为感应电压 V_{OC} 、滤波电容 C_f 和芯片阻抗的函数（通过并联电阻 R_p 和并联电容 C_p ），如下图所示：

图 9. 带滤波器的标签的等效模型



$$V_{AC0-AC1} = \frac{V_{OC}}{\left(1 - \omega^2 C_p L'_a + \frac{R'_a}{R_p} + \frac{C_p}{C_f}\right) + j\omega \left(\frac{L'_a}{R_p} + C_p R'_a - \frac{1}{R_p C_f \omega^2}\right)}$$

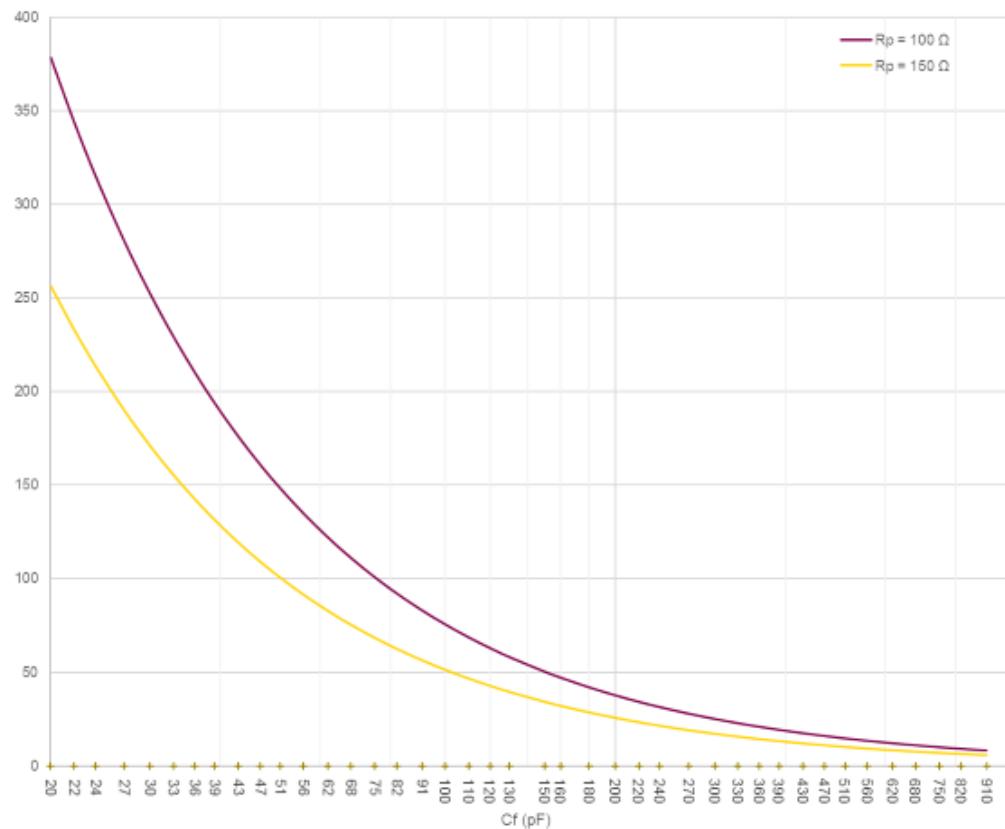
已知芯片支持的最大值 $V_{AC0-AC1} = V_{MAX_1}$ 、其 R_p ($V_{AC0-AC1}$) 和 C_p ，可以根据给定的感应电压确定能够保护芯片的 C_f 值。

下图显示了不同 C_f 值的电压衰减情况： $\frac{V_{AC0-AC1}(C_f)}{V'_{AC0-AC1}(C_f)}$

假设读卡器和标签之间有一个相互常量 ($V_{OC} = V'_{OC}$) 是一种一级近似法。

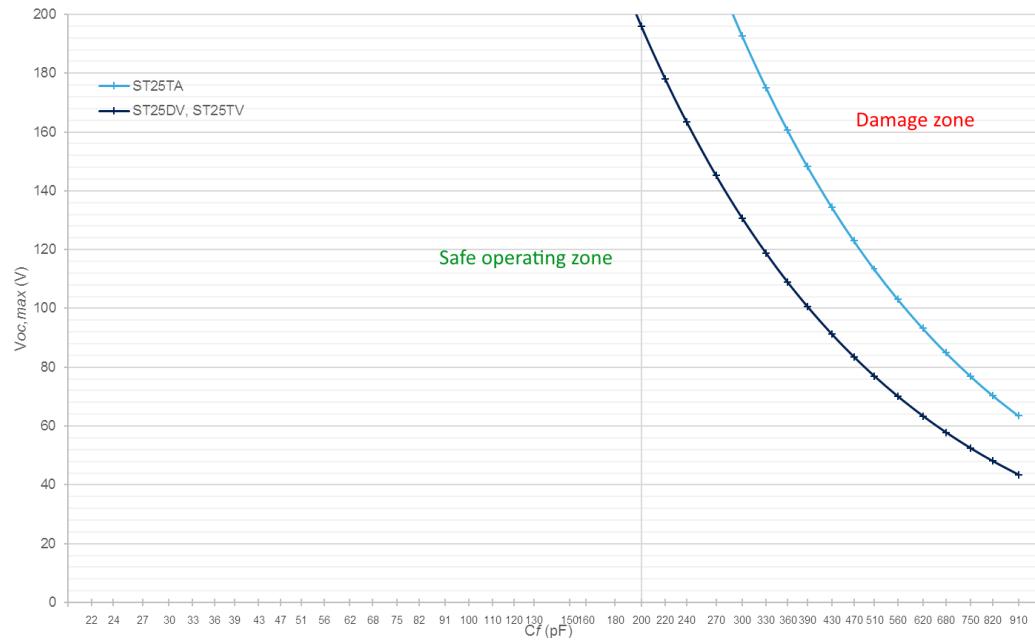
相同的图形适用于所有 ST25 C_p 值。对于符合 ISO/IEC 1569 标准的 ST25 系列， $R_p = 150 \Omega$ ；而对于符合 ISO/IEC14434 标准的 ST25 系列， $R_p = 100 \Omega$ 。

图 10. 200 kHz 时的滤波衰减



下图更进一步，直接表示了给定 V_{OC} 的安全操作区域：曲线下方的面积是 V_{OC} 值，此时芯片没有损坏风险。

图 11. LF 电压由电容值滤波



在此图中：

- 已经用 $f_{PTx} = 200$ kHz 进行了计算，而这是范围[80-200 kHz]中最坏的情况。
- C_p 的微小变化对结果的影响可以忽略不计，因此 ST25DV 和 ST25TV 具有相同的图形。

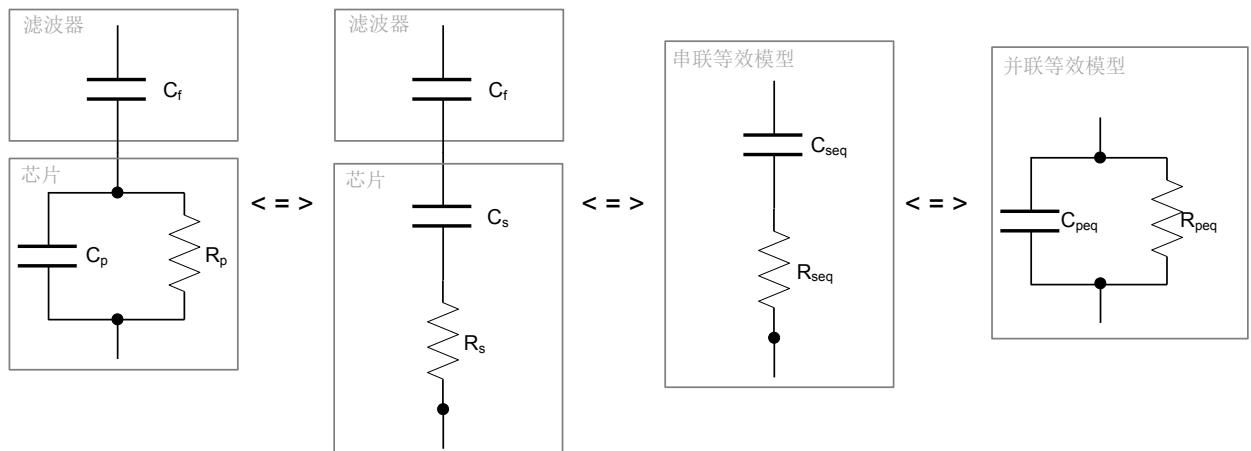
附录 A 公式

该附录详细说明了文档正文中使用的公式的计算方法。

A.1 带保护功能的标签转换

下面是用于在各种等效模型拓扑之间进行转换的通用公式。

图 12. 等效模型转换



转换 1:

$$C_s = C_p \frac{1 + Q_{chip}^2}{Q_{chip}^2}$$

其中:

$$Q_{chip} = \omega C_p R_p = \frac{1}{\omega C_s R_s}$$

$$R_s = R_p \frac{1}{1 + Q_{chip}^2}$$

转换 2:

$$C_{seq} = \frac{C_f C_s}{C_f + C_s}$$

$$R_{seq} = R_s$$

转换 3:

$$C_{peq} = C_{seq} \frac{Q_{eq}^2}{1 + Q_{eq}^2}$$

其中:

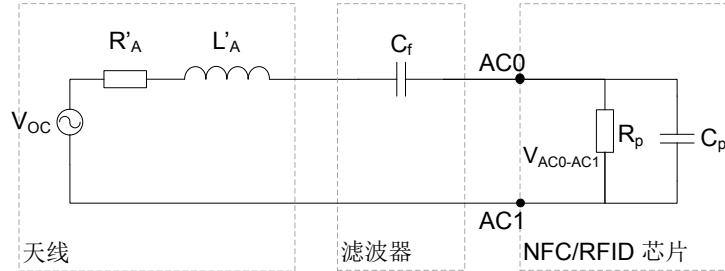
$$Q_{eq} = \frac{1}{\omega C_{seq} R_{seq}} = \frac{C_f + C_s}{\omega C_f C_s R_s} = Q_{chip} \frac{C_f + C_s}{C_f}$$

$$R_{peq} = R_{seq} (1 + Q_{eq}^2)$$

A.2 $L'_a = f(L_a)$ 的表达式

下面是与第 4.3.1 节 新天线电感对应的计算。

图 13. 带滤波器的标签的等效模型



带滤波器的系统:

$$V_{AC0-AC1} = \frac{V_{OC}}{\left(1 - \omega^2 C_p L'_a + \frac{R'_a}{R_p} + \frac{C_p}{C_f}\right) + j\omega \left(\frac{L'_a}{R_p} + C_p R'_a - \frac{1}{R_p C_f \omega^2}\right)}$$

当模块最大时发生谐振: $1 + \omega^2 C_p L'_a + \frac{R'_a}{R_p} + \frac{C_p}{C_f} = 0$

聚焦 POR 操作点, 此处: $\frac{R'_a}{R_p} \ll 1$

$$L'_a = \frac{1 + \frac{C_p}{C_f}}{\omega_0^2 C_p} = \frac{C_f + C_p}{C_f} \cdot \frac{1}{\omega_0^2 C_p}$$

目标是与没有滤波器的系统保持相同的谐振频率 (ω_0) ; 对于没有滤波器的系统, 可以证明: $L_a \approx \frac{1}{\omega_0^2 C_p}$

所以表达式变成:

$$L'_a \approx \frac{C_f + C_p}{C_f} \cdot L_a$$

A.3 由滤波电容引起的电压衰减

这是与第 4.3.2 节 对芯片电压的影响（使用图 3. 存在磁场时的 NFC/RFID 标签等效模型和图 5. 带滤波器的标签的等效模型表示法）对应的计算方法。

$$\frac{V_{AC1-AC0}(\omega_0)}{V'_{AC1-AC0}(\omega_0)} = \frac{1}{G} = \frac{\frac{L'_a}{R_p} + C_p R'_a - \frac{1}{R_p C_f \omega_0^2}}{\frac{1}{R_p C_p \omega_0^2} + C_p R_a}$$

$$\frac{1}{G} = \frac{C_p \omega_0^2 L'_a + R_p R'_a C_p^2 \omega_0^2}{1 + C_p^2 R_p R_a \omega_0^2} = \frac{C_p}{C_f}$$

发生谐振的条件是: $1 - \omega_0^2 C_p L'_a + \frac{C_p}{C_f} = 0$ 因此: $\omega_0^2 C_p L'_a - \frac{C_p}{C_f} = 1$

因为 $R_p = R_s (1+Q^2)$

$$G = \frac{1 + \frac{Q_{chip}^2 R_a}{R_s (1 + Q_{chip}^2)}}{1 + \frac{Q_{chip}^2 R'_a}{R_s (1 + Q_{chip}^2)}} = \frac{1 + Q_{chip}^2 + \frac{Q_{chip}^2 R_a}{R_s}}{1 + Q_{chip}^2 + \frac{Q_{chip}^2 R'_a}{R_s}} = \frac{1 + Q_{chip}^2 \left(1 + \frac{R_a}{R_s}\right)}{1 + Q_{chip}^2 \left(1 + \frac{R'_a}{R_s}\right)}$$

$$G = \frac{A}{A + Q_{chip}^2 \frac{\Delta R_a}{R_s}}$$

数值应用: $Q_{chip} > 10$, 所以 $Q_{chip}^2 \left(1 + \frac{R_a}{R_s}\right) \gg 1$ 表达式可以简化为:

$$G = \frac{1 + Q_{chip}^2 \left(1 + \frac{R_a}{R_s}\right)}{1 + Q_{chip}^2 \left(1 + \frac{R'_a}{R_s}\right)} \approx \frac{1 + \frac{R_a}{R_s}}{1 + \frac{R'_a}{R_s}}$$

$$G \approx \frac{R_s + R_a}{R_s + R'_a}$$

A.4 标签的品质因子

本节显示与第 4.3.3 节 对标签品质因子的影响对应的计算。

$$Q_{tag} = \frac{R_s}{R_a + R_s} Q_{chip}$$

$$Q'_{tag} = \frac{R_s}{R'_a + R_s} Q_{eq}$$

其中 $Q_{chip} = \frac{1}{\omega_0 C_s R_s}$

且 $Q_{eq} = \frac{1}{\omega_0 C_{seq} R_{seq}}$

因此：

$$Q'_{tag} = \frac{R_s}{R'_a + R_s} \cdot \frac{1}{\omega_0 C_f C_s R_s} = \frac{R_s}{R'_a + R_s} \cdot \frac{C_f + C_s}{\omega_0 C_f C_s R_s}$$

为了简化，分解 $\frac{R_s}{R'_a + R_s} = \frac{R_s}{R_a + \Delta R_a + R_s}$ 使用以下公式：

$$\frac{a}{b+c} = \frac{a}{b} + x \Rightarrow x = \frac{a}{b+c} - \frac{a}{b} = \frac{ab - a(b+c)}{(b+c)b} = \frac{a}{b} \cdot \frac{b-b-c}{b+c} = \frac{ac}{b(b+c)}$$

该公式中， $b=R_a+R_s$, $c=\Delta R_a$:

$$Q'_{tag} = \frac{R_s}{R'_a + R_s} \cdot \frac{C_f + C_s}{\omega_0 C_f C_s R_s} - \frac{R_s \Delta R_a}{(R_a + R_s)(R'_a + R_s)} \frac{C_f + C_s}{\omega_0 C_f C_s R_s} = Q_{tag} \frac{C_f + C_s}{C_f} - Q_{tag} \frac{C_f + C_s}{C_f} \frac{\Delta R_a}{(R'_a + R_s)}$$

$$Q'_{tag} = Q_{tag} \frac{C_f + C_s}{C_f} \left(1 - \frac{\Delta R_a}{(R'_a + R_s)} \right)$$

版本历史

表 4. 文档版本历史

日期	版本	变更
2019 年 9 月 4 日	1	初始版本。
2019 年 9 月 13 日	2	更改了保密级别

目录

1	问题描述	2
2	保护措施描述	3
3	如何衡量标签上的 PTx 风险	4
4	如何选择保护电容值	7
4.1	C_f 对 NFC 标签调谐的影响	9
4.2	设计新天线时要考虑滤波器因素	12
4.3	改造现有天线，考虑添加滤波器	12
4.3.1	新天线电感	12
4.3.2	对芯片电压的影响	12
4.3.3	对标签品质因子的影响	13
4.4	C_f 对 PTx 保护的影响	14
附录 A	公式	18
A.1	带保护功能的标签转换	18
A.2	$L'_a = f(L_a)$ 的表达式	21
A.3	由滤波电容引起的电压衰减	23
A.4	标签的品质因子	23
	Revision history	25

表一览

表 1.	ST25 系列的电压限值	6
表 2.	C_f 值对标签系统的影响	9
表 3.	ST25 器件的内部调谐电容	11
表 4.	文档版本历史	25

图一览

图 1.	无线充电	2
图 2.	带有功率传输保护元件的标签	3
图 3.	存在磁场时的 NFC/RFID 标签等效模型	5
图 4.	对于 NFC 标签来说最坏的充电情况	6
图 5.	带滤波器的标签的等效模型	8
图 6.	带滤波器的标签的等效模型（用于天线调谐）	10
图 7.	等效电容（低 C_{chip} ）	11
图 8.	等效电容（高 C_{chip} ）	12
图 9.	带滤波器的标签的等效模型	15
图 10.	200 kHz 时的滤波衰减	16
图 11.	LF 电压由电容值滤波	17
图 12.	等效模型转换	19
图 13.	带滤波器的标签的等效模型	21

重要通知 - 请仔细阅读

意法半导体公司及其子公司（“ST”）保留随时对 ST 产品和/或本文档进行变更、更正、增强、修改和改进的权利，恕不另行通知。买方在订货之前应获取关于 ST 产品的最新信息。ST 产品的销售依照订单确认时的相关 ST 销售条款。

买方自行负责对 ST 产品的选择和使用，ST 概不承担与应用协助或买方产品设计相关的任何责任。

ST 不对任何知识产权进行任何明示或默示的授权或许可。

转售的 ST 产品如有不同于此处提供的信息的规定，将导致 ST 针对该产品授予的任何保证失效。

ST 和 ST 标志是 ST 的商标。关于 ST 商标的其他信息，请访问 www.st.com/trademarks。其他所有产品或服务名称是其各自所有者的财产。

本文档中的信息取代本文档所有早期版本中提供的信息。

© 2020 STMicroelectronics - 保留所有权利