

Magnetische Antennen und deren Richtcharakteristik

Auslegung und Vermessung einer NFC Antenne



Betreuer: Dipl.-Ing. (FH) Jörg Braune

10. Juni 2022
Version 1.0 α

Einleitung

Aus dem Themenkomplex der Magnetischen Antennen haben wir uns mit Antennen für NFC-Anwendungen befasst. NFC ist ein RFID-Übertragungsstandard zur Datenübertragung auf 13,56 MHz für sehr kurze Distanzen. Verwendet wird NFC hauptsächlich für Bezahl- und Zugangskontrollsysteme.

1 Theoretische Grundlagen

NFC wird üblicherweise auf sehr kurzen Entfernungen ≤ 5 cm verwendet. Hieraus ergeben sich einige Besonderheiten. Z.B. spielt für diese Verwendung lediglich das Verhalten im Nahfeld eine Rolle. Hier wird das Verhalten der Antenne durch das Magnetische Feld dominiert, sodass das die Performance der Antenne hauptsächlich durch ihre Induktivität bestimmt ist.

2 Auslegung

Bei der Auslegung der Antenne lag das Hauptaugenmerk auf den physischen Abmessungen, sowie auf der Induktivität und der Güte um einen störungsfreien Betrieb bei den höheren Datenraten zu gewährleisten. Hierzu haben wir uns an dem Application Note AN4974¹, sowie dem Referenzdesign des X-NUCLEO-NFC05A1 orientiert. Die Antenne soll später in einem Batteriebetriebenen Leser für die Zugangskontrolle an Maschinen eingesetzt werden. Aus dem Gehäusedesign ergeben sich maximale Abmessungen von 50 mm \times 40 mm, um in alle Richtungen mindestens 1,5 mm Abstand zum Rand und anderen Bauteilen zu haben wurden als finale Aussenmaße 47 mm \times 34 mm festgelegt. Diese Werte wurden in die eDesignSuite von ST eingetragen und dann mit verschiedenen Werten für Leiterbahnbreite und -abstand experimentiert. Hier wurde mit vier Windungen eine Induktivität von 1,26 μ H errechnet.

¹Antenna matching for ST25R3911B/ST25R391x devices (https://www.st.com/resource/en/application_note/dm00347152-antenna-matching-for-st25r3911bst25r391x-devices-stmicroelectronics.pdf)

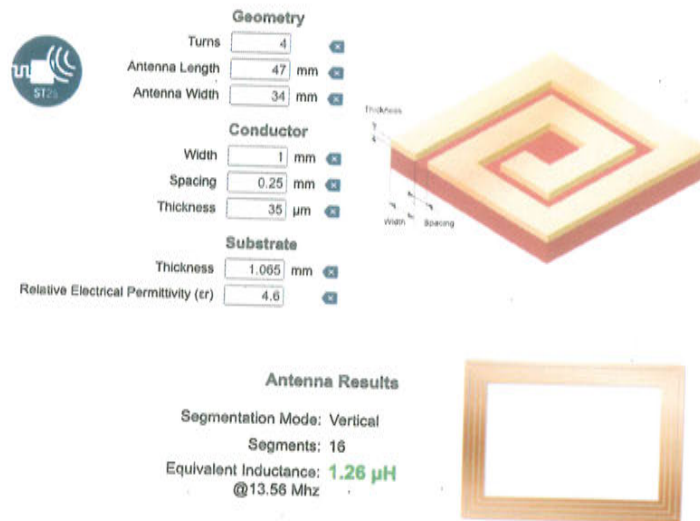


Abbildung 1: Auslegung mit ST eDS

3 Herstellung

Mit den ermittelten Parametern wurde die Antenne in Inkscape gezeichnet und dann als Footprint importiert. Um die Vermessung der Antenne zu ermöglichen haben wir dann ein simples Platinenlayout bestehend aus der Antenne und einer SMA-Buchse erstellt.

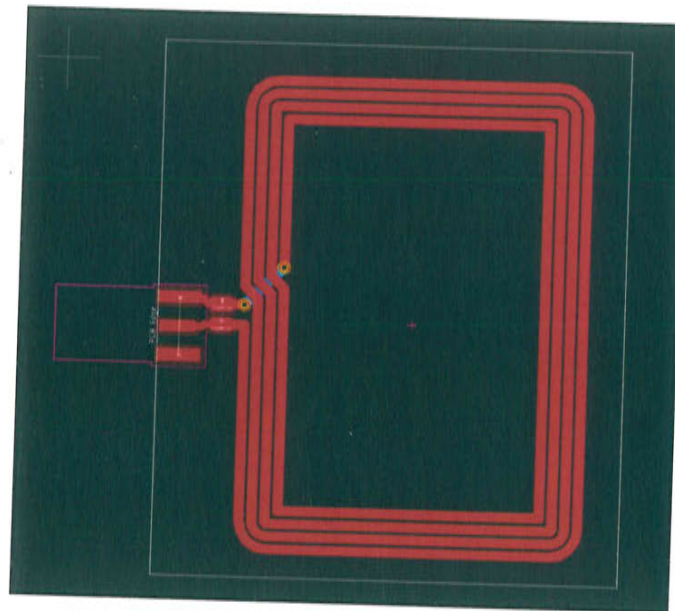


Abbildung 2: Zeichnen des Layouts mit KiCad

Das Layout haben wir im Labor für Fertigungsverfahren der Mechatronik per Isolationsfräsverfahren hergestellt. Bei diesem Verfahren werden üblicherweise nur die Konturen der Leiterbahnen ausgefräst um die Bearbeitungszeit und den Werkzeugverschleiß zu reduzieren. Da die verbleibenden Kupferflächen allerdings das Verhalten der Antenne beeinflussen würden haben wir diese vollständig entfernt. Um ein zweites aufspannen und einmessen der Platine zu vermeiden, haben wir die rückseitige Verbindung mit einer Drahtbrücke hergestellt.



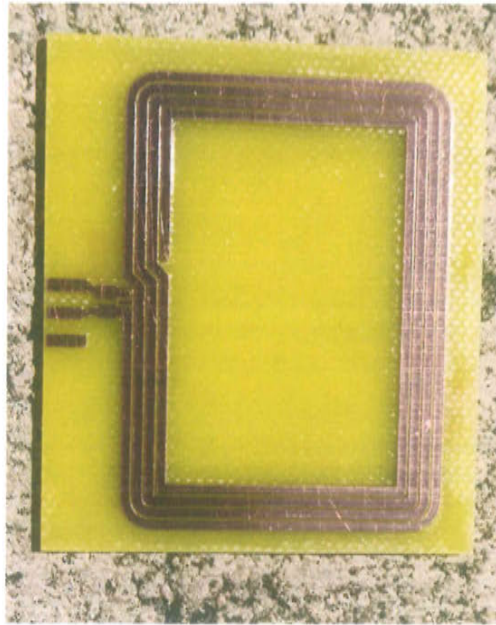


Abbildung 3: Gefräste Platine

4 Vermessung

Zum Vermessen der Antenne haben wir den NanoVNA-H eingesetzt. An diesen haben wir zunächst eine Kurze Messleitung angeschlossen und dann eine Kalibration mittels "Open"-, "Short"- und "Load"-Standards durchgeführt. Danach haben wir die Messleitung mit der Antenne verbunden und mit Hilfe von NanoVNASaver, entsprechend dem Application Note von ST, die Messung von 1 MHz bis 300 MHz durchgeführt.

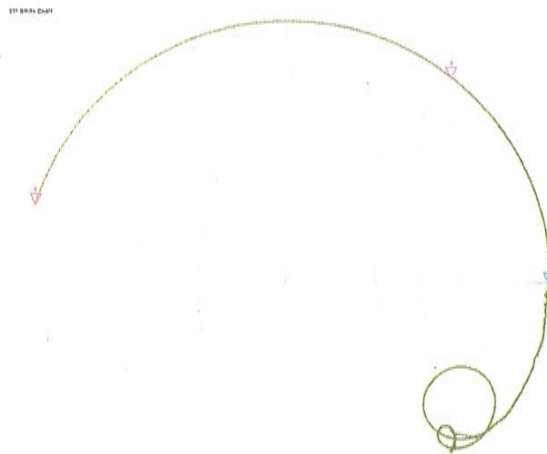


Abbildung 4: Smith-Diagramm

Bei 1 MHz können wir die Induktivität $L_{ANT} = 1,206 \mu\text{H}$, sowie den DC-Widerstand $R_{SDC} = 413 \text{ m}\Omega$ ablesen. Ausserdem messen wir am Schnittpunkt mit der Realen-Achse die Eigenresonanzfrequenz $f_{res} = 74,54 \text{ MHz}$ und den Parrallelwiderstand $R_{P@f_{res}} = 9,225 \text{ k}\Omega$



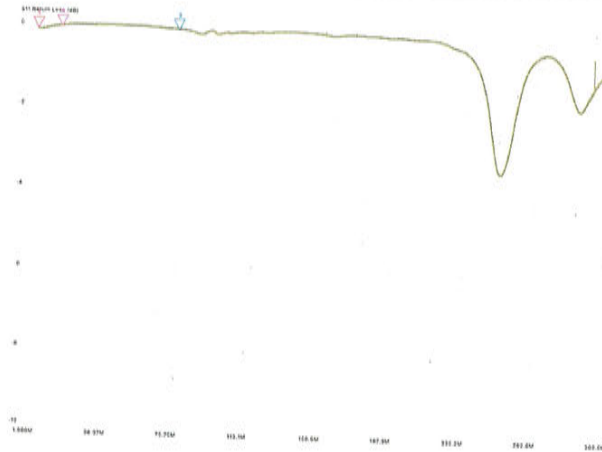


Abbildung 5: Rückflussdämpfung

4.1 Berechnung des Ersatzschaltbilds

Zunächst berechnen wir die parasitäre Kapazität bei der Resonanzfrequenz.

$$\begin{aligned}
 C_{ANT} &= \frac{1}{\omega^2 \cdot L_{ANT}} \\
 &= \frac{1}{(2\pi \cdot f_{res})^2 \cdot L_{ANT}} \\
 &= \frac{1}{(2\pi \cdot 74,54 \text{ MHz})^2 \cdot 1,206 \mu\text{H}} \\
 &= 3,78 \text{ pF}
 \end{aligned}$$

Der Parallelwiderstand bei der Arbeitsfrequenz $f_{work} = 13,56 \text{ MHz}$ wird mittels eines Umrechnungsfaktors aus $R_{P@f_{res}}$ berechnet.

$$\begin{aligned}
 K &= \sqrt{\frac{f_{res}}{f_{work}}} = \sqrt{\frac{74,54 \text{ MHz}}{13,56 \text{ MHz}}} = 2,345 \\
 R_{P@f_{work}} &= K \cdot R_{P@f_{res}} = 2,345 \cdot 9,225 \text{ k}\Omega = 21,629 \text{ k}\Omega
 \end{aligned}$$

Mit diesen Komponenten können wir folgendes Ersatzschaltbild aufstellen:

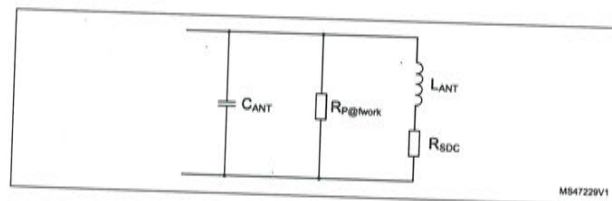


Abbildung 6: Ersatzschaltbild

Indem wir den Reihenwiderstand R_{SDC} in einen Parallelwiderstand umrechnen können wir das Schaltbild noch weiter vereinfachen.



$$\begin{aligned}
 Q &= \frac{\omega L_{ANT}}{R_{SDC}} \approx \frac{R_{PDC}}{\omega L_{ANT}} \\
 \Rightarrow R_{PDC} &= \frac{(2 \cdot \pi \cdot f_{work} \cdot L_{ANT})^2}{R_{SDC}} \\
 &= \frac{(2 \cdot \pi \cdot 13,56 \text{ MHz} \cdot 1,206 \mu\text{H})^2}{413 \text{ m}\Omega} \\
 R_{PDC} &= 25,56 \text{ k}\Omega
 \end{aligned}$$

Nun berechnen wir die Parallelschaltung der beiden Widerstände.

$$R_{PANT} = \frac{R_{PDC} \cdot R_{P@f_{work}}}{R_{PDC} + R_{P@f_{work}}} = \frac{25,56 \text{ k}\Omega \cdot 21,629 \text{ k}\Omega}{25,56 \text{ k}\Omega + 21,629 \text{ k}\Omega} = 11,715 \text{ k}\Omega$$

Mit den errechneten Werten können wir jetzt folgendes Ersatzschaltbild aufstellen:

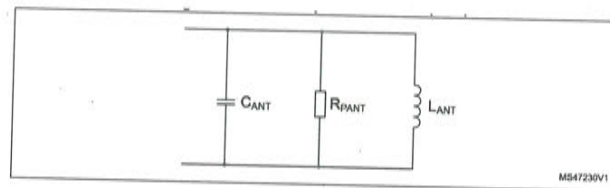


Abbildung 7: Vereinfachtes Ersatzschaltbild

Ausserdem können wir die Güte Q der Antenne bestimmen.

$$\begin{aligned}
 Q &= \frac{R_{PANT}}{\omega * L_{ANT}} \\
 &= \frac{11,715 \text{ k}\Omega}{2 \cdot \pi \cdot 13,56 \text{ MHz} \cdot 1,206 \mu\text{H}} \\
 Q &= 114
 \end{aligned}$$

Diese sehr hohe Güte muss dann beim Anschluss an das Leser-IC mithilfe von Dämpfungswiderständen wieder reduziert werden um die entsprechende Bandbreite für die Datenübertragung zu erreichen.



