Bachelor-Arbeit

Thema: Modellierung von diskreten kapazitiven Elementen für die Einkopplung von selbstresonanten Spulen zur Optimierung der kontaktlosen Energieübertragung

Verfasser: Hermann Merk

Studiengang: Elektrotechnik und Informationstechnik

Fachrichtung: Kommunikationstechnik

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Klaus Werner Kark
Pascal Ripp, M.Eng.

Zum Verfasser

Hermann Merk
geb. am 31.03.1987



1998 – 2007 Abitur am
Gymnasium in Aulendorf

2013 – 2016 Bachelor of Engineering
an der Hochschule Ravensburg – Weingarten

Aufgabenstellung

Die Auslegung eines Systems zur drahtlosen Energieübertragung mittels Induktion im Nahfeld über eine kapazitive Einkopplung eines diskreten Bauelements an einen elektrischen Schwingkreis ist der vorrangige Untersuchungsgegenstand der vorliegenden Bachelorarbeit. Dabei steht die Optimierung der Resonanzfrequenz sowie des Energietransfers im Vordergrund. Der Auslegung der Koppelkondensatoren kommt beim Entwurf eines resonant induktiven Kopplungssystems zentrale Bedeutung zu. Insbesondere liefern verschiedene Geometrien des Koppelkondensators unterschiedliche Ergebnisse in der Resonanzfrequenz. Auch unter - schiedliche Aspekte der Spulenform in Windungszahl oder Spiraldicke stehen dabei ähnlich wie die Form des interdigitalen Kondensators in direkter Ab - hängigkeit zur Optimierung der Resonanzfrequenz. Diese soll in den frei nutzbaren Frequenzbereich der ISM-Bänder fallen.

Koppelkondensator

Für die Einkopplung an den elektrischen Schwingkreis der selbstresonanten Spule dient ein interdigitaler Kondensator (Abb. 1). Die Flächen der Elektroden des diskreten kapazitiven Koppelelements sind trotz kleiner Bauweise verhältnismäßig groß und ermöglichen dadurch eine ebenso große Kapazität. Dem interdigitalen Koppelkondensator kommt nun als neue Komponente der drahtlosen Energieübertragung eine wichtige Rolle zu, denn über diese Koppelkapazität schwingt der Resonanzschwingkreis frei. Durch Variation des Koppelkondensators anhand diverser Parametereinstellungen wird der Schwingkreis unterschiedlich “belastet“. Somit wird die Resonanzfrequenz verstimmt. Als Folge dieses Umstandes lässt sich ein niedrigeres ISM-Frequenzband erreichen.

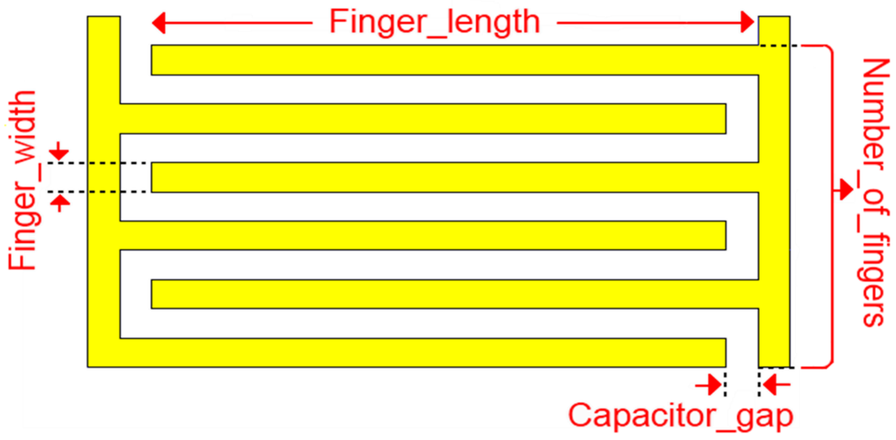


Abb. 1: Interdigitaler Kondensator mit diversen Parametern

Ersatzschaltbild und Magnetfeld

Das ESB in Abb. 2 stellt die induktiv gekoppelte Energieübertragung dar. Die Eigenkapazität C_P der Spiralspule und der Verlustwiderstand R be - schreiben die parasitären Komponenten der Spulen L_1 sowie L_2.
M gibt im obigen Ersatzschaltbild die induktive Kopplung der räumlich benachbarten elektrischen Stromkreise wieder und $R_{1,2}$ beschreibt jeweils einen ohmschen Widerstand, der durch die Anbindung des Koppel - kondensators C_1 bzw. C_2 durch die Streifenleitung und durch sonstige Verlustwiderstände hervorgerufen wird. Der magnetische Fluss wird nicht komplett durch die Windung der Sekundärspule L_2 geführt, sondern unterteilt sich in einen Hauptfluss ϕ, der beide Spulen durchsetzt und jeweils einen Streufluss $\phi_{1,2}$. Des Weiteren wird in Abb. 2 das magnetische Feld aufgezeigt. Dieses weist einen starken Hauptfluss im Zentrum der Spule auf, welcher aber mit größer werdendem Spulenradius abnimmt. Die negativen Keulen unterhalb der x - Achse beschreiben lediglich den magnetischen Rückfluss und den somit stattfindenden Vorzeichenwechsel der Feldlinien. Die Rippel hingegen sind durch die Inhomogenität der Quelle gegeben, d.h. dass sie durch den konstanten Abstand der spiralförmigen Streifenleitung hervorgerufen werden. Im Zentrum der Spule lässt sich ein absolutes Maximum des magnetischen Feldes vorfinden. Um eine hohe induzierte Spannung auf der Sekundärseite hervorzurufen, muss das magnetische Feld größtmöglich aufgebaut werden. Dies geschieht dadurch, dass zum Beispiel die Stromstärke I ihren Maximalwert durch gegenseitige Aufhebung der Blindwiderstände des elektrischen Schwingkreises erreicht. Somit steigt das Magnetfeld und die damit einhergehende induzierte Spannung. Sind nun der induktive sowie der parasitäre kapazitive Blindwiderstand der Spule betragsmäßig gleich groß, so bezeichnet man diesen Sonderfall als Resonanz.

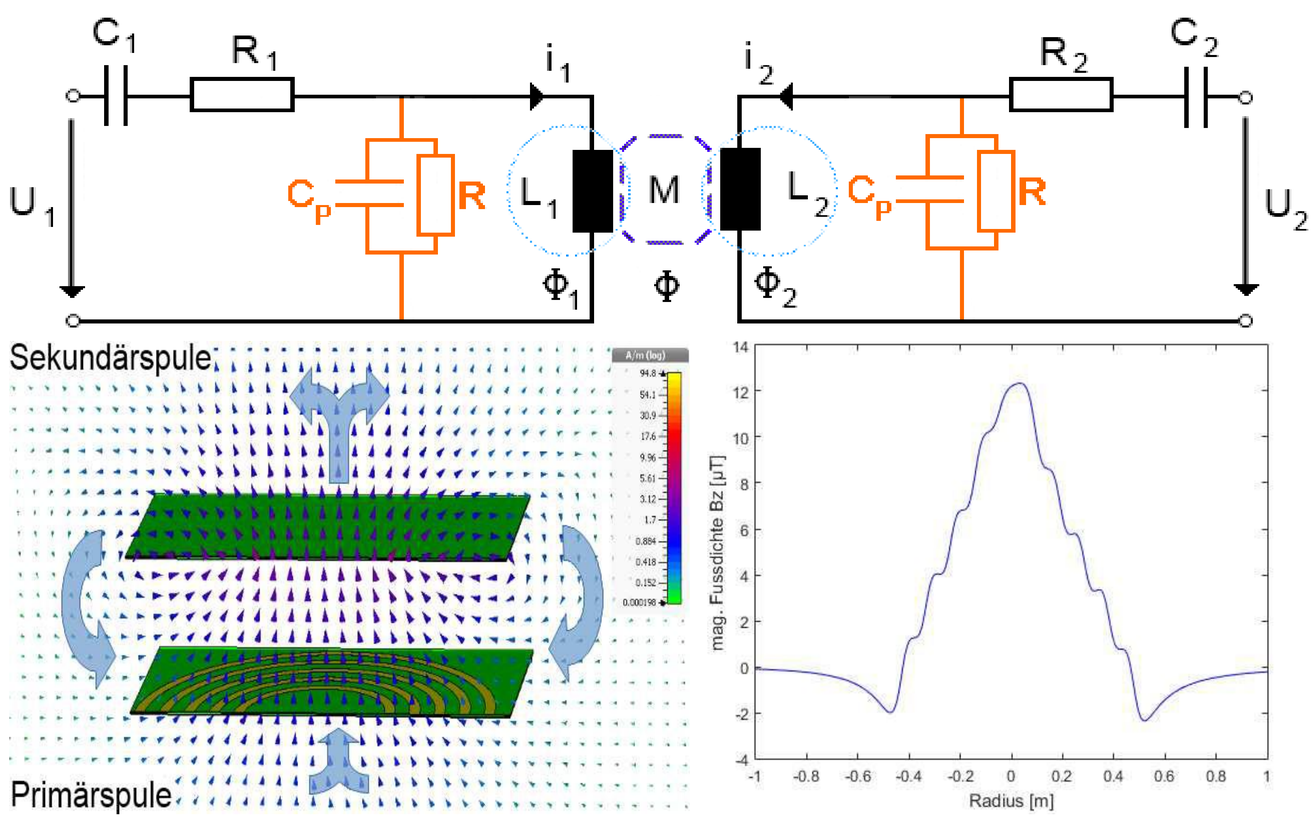


Abb. 2: ESB (oben) und Darstellung der magnetischen Feldlinien (unten links: Pfeilliniendarstellung, unten rechts: MATLAB Plot)

Untersuchung der Resonanzfrequenz und der Energieübertragung

Bei der Findung und Optimierung der Resonanzfrequenz sowie des Energietransfers wird nun die Geometrie der Spule und des interdigitalen Kondensators gleichzeitig verändert. Abbildung 3 gibt die Resonanzfrequenz und den Energietransfer wieder. Die Resonanzfrequenz liegt nun mit 6,766 MHz im Bereich des untersten ISM-Bandes. Diese erreicht bei der Energieüber - tragung eine Effizienz von ca. 87,4 % ($\rightarrow \; S_{21}^2 = 0{,}935^2 = 0{,}874$).
Hierbei weist die ermittelte Induktivität der Spule einen Wert von 4,58 µH auf, während der interdigitale Kondensator eine Koppelkapazität von 52,082 pF besitzt .

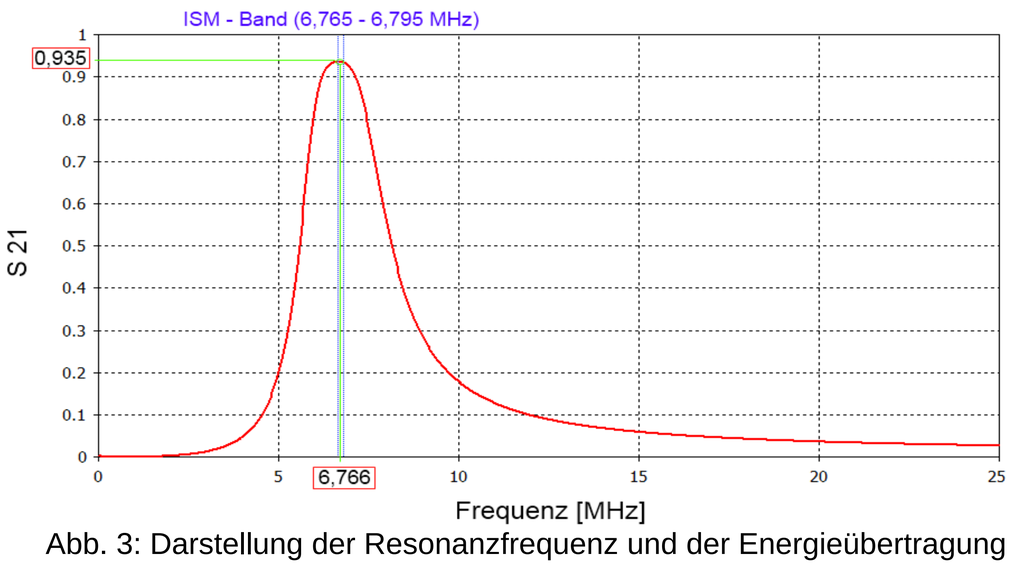


Abb. 3: Darstellung der Resonanzfrequenz und der Energieübertragung

Fazit

Im Zuge der Optimierung der kontaktlosen Energieübertragung wurde ein neues Modell mit einem diskreten kapazitiven Element erstellt. Mit Hilfe verschiedener Simulationsdurchläufe und unterschiedlicher Spulen und Kondensator Geometrien wurde das Ziel der Optimierung der Resonanzfrequenz erreicht. Die Resonanz- frequenz liegt nun bei 6,766 MHz und somit im Frequenzbereich des untersten ISM - Bandes. Gleichzeitig besitzt auch der lineare Transmissionskoeffizient für die Energieübertragung einen passablen Wert von $S_{21} = 0{,}935$ ($\rightarrow 20 \log S_{21} = -0{,}583$ dB).