

## **P r a k t i k u m**

### **Elektromagnetische Verträglichkeit**

#### **Versuch 11      Simulation elektromagnetischer Felder**

Gruppen-Nr.:	Gruppenteilnehmer:
Protokollführer:	
Durchgesehen und für richtig befunden (Unterschriften aller Übungsteilnehmer)	Stempel

---

# Versuch 11

## Simulation elektromagnetischer Felder

Sehr geehrte Studierende,

für die Nutzung der Simulationssoftware FEKO besuchen Sie bitte vorab die Webseite <https://altairuniversity.com/> und registrieren Sie sich dort. Anschließend können Sie für Ihren privaten PC eine Studentenlizenz beantragen. Zusätzlich steht Ihnen FEKO auch im Pool-Raum zur Verfügung. Nutzen Sie ggf. die Ressourcen aus der Altair University, um sich vorab mit FEKO vertraut zu machen.

<https://altairhyperworks.com/product/feko>  
<https://altairuniversity.com/feko-student-edition/>

### Antennen, Abstrahlung, Lambda/2-Dipol

Bei dem Begriff „Antenne“ denken wir häufig zuerst an Strukturen, die möglichst effizient abstrahlen sollen (z.B. bei Rundfunksendern, GSM-,UMTS- oder LTE-Basisstationen, im WLAN-Router, u.v.a.m.) bzw. in der reziproken Anwendung möglichst gut empfangen sollen (TV-/Radio-Empfänger und wiederum GSM-,UMTS- oder LTE-Basisstationen, WLAN-Router, ...). Die eigentliche Ursache für elektromagnetische (EM) Strahlung ist die Beschleunigung von Ladungen. Dies wird in vielen technischen Anwendungen dadurch realisiert, dass hochfrequente Wechselströme durch metallische Strukturen fließen. Diese Metallstrukturen sind häufig Drähte, Stäbe, flache oder gewölbte Bleche oder planare Strukturen auf Platinen oder keramischen Substraten. Eine der wichtigsten elementaren Antennenformen ist der sogenannte Lambda/2-Dipol. Durch die Bearbeitung der folgenden Aufgabenteile sollen Sie wichtige elektrische Größen dieses Dipols mit Hilfe der numerischen Simulation kennenlernen. Weiterhin können Sie durch die Visualisierung die räumliche und zeitliche Variation der EM-Felder sichtbar machen. Das Verständnis für EM-Felder und Antennen ist einerseits wichtig bei dem Einsatz der Antennen für Messzwecke: Sei es als Empfangsantenne, um die Störaussendung von Geräten zu beurteilen oder als Sendeantenne, um die Robustheit eines Prüflings gegenüber gestrahlten EM-Feldern zu bestimmen.

Andererseits treffen wir im Alltag eines Ingenieurs auch auf Antennen, die wir als solche erst einmal erkennen müssen: Sind Drähte in Schaltschränken oder Gehäusen bzw. Leiterbahnen auf Platinen ungünstig positioniert, so wirken diese als unerwünschte Antennen. Somit kann es zu unerwünschter Abstrahlung und damit Störung anderer Geräte oder Funkdienste kommen. In der Wirkung als unerwünschte Empfangsantenne hingegen wird ein Gerät möglicherweise unzuverlässig, wenn z.B. ein Mobiltelefon in der Nähe sendet, da die Aussendungen unerwünscht in dieses Gerät einkoppeln können.

Zum Verständnis dieser „versteckten“ Antennen ist wiederum ein grundlegendes Verständnis über Antennen erforderlich.

Bitte notieren Sie beim Durcharbeiten der Versuchsbeschreibung alle Ausdrücke oder Zusammenhänge, die Ihnen unklar sind. Suchen Sie rechtzeitig (d.h. mehrere Tage) vor dem mündlichen Eingangstest einen Mitarbeiter des EMV-/HF-Labors auf oder nutzen Sie Literatur, das Gespräch mit Kommilitonen oder andere Quellen, um die Unklarheiten zu beseitigen.

Alle Fragen, die in der Versuchsbeschreibung gestellt werden, sind vor dem mündlichen Testat schriftlich zu beantworten.

## 1. Numerische Simulationen zum Lambda/2-Dipol

- 1.1. Wie ist der Zusammenhang zwischen Frequenz und Wellenlänge im Allgemeinen? Geben Sie die Wellenlänge für die Frequenz  $f_i$  an.
- 1.2. Modellieren Sie in FEKO einen Lambda/2-Dipol für die Frequenz  $f_i$  mit dem Drahtdurchmesser  $D_i$ .
- 1.3. Erstellen Sie ein Diagramm, das die komplexe Eingangsimpedanz des Dipols im Frequenzbereich  $0,7 \cdot f_i$  bis  $1,3 \cdot f_i$  darstellt. Fügen Sie dieses Diagramm in Ihren Laborbericht ein. Sie können das vorgefertigte FEKO-Projekt „V11-1.3“ nutzen, müssen aber Geometrie und Frequenzen anpassen!
- 1.4. Wie lautet die komplexe Fußpunktimpedanz des Lambda/2-Dipols bei der Frequenz  $f_i$ . Vergleichen Sie das numerische Ergebnis mit der analytischen Beschreibung aus der Literatur. Geben Sie an, welche Literaturquellen Sie benutzt haben. Nutzen Sie auch die elektronischen Datenbanken der Hochschule (<https://www.jade-hs.de/unsere-hochschule/organisation/zentrale-bereiche/hochschulbibliothek/> -> [Datenbanken \(DBIS\)](#)).
- 1.5. Bei welcher Frequenz ist die Eingangsimpedanz des Dipols rein reell?
  - 1.5.1. Vergleichen Sie bei dieser Frequenz den Wert der Eingangsimpedanz für folgende Simulationseinstellungen:
    - 1.5.1.1. Meshing coarse
    - 1.5.1.2. Meshing standard
    - 1.5.1.3. Meshing fine
  - 1.5.2. Wie groß sind die Abweichungen in Prozent?  
Wie beurteilen Sie diese Abweichungen?
- 1.6. Betrachten Sie die komplexe Impedanz bei der Frequenz  $f_i$ . Welche Generatorimpedanz (Innenwiderstand) sollte ein speisender Generator für den Fall der Leistungsanpassung aufweisen.
- 1.7. Wie groß ist der Wirkungsgrad im Falle der Leistungsanpassung?

Gruppe	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
$f_i$ in MHz	145	210	380	470	260	300	225	275	380	170
$D_i$ in mm	4	3	2	2	3	4	5	5	2	3

### Literatur zum Lambda/2-Dipol:

- Klaus Kark, „Antennen und Strahlungsfelder“, Kapitel 10 „Lineare Antennen“  
<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-658-03616-4.pdf>

## 2. Numerische Simulationen von parallelen Leitungsbussen

Beispiele für parallele Busse sind der traditionelle Drucker-Port (LPT, „Centronics“-Schnittstelle), die früheren ISA- und PCI-Busse in Computern oder auch IDE/PATA-Anschlüsse für Festplatten und optische Laufwerke. Die nachfolgende Aufgabe soll auf die fundamentalen Probleme dieser (mittlerweile durch serielle Busse abgelösten) Technologie aufmerksam machen.

2.1. Modellieren Sie über einer rechteckigen Metallfläche einen Bus mit vier Datenleitungen (D0...D3) und einer Masseleitung (GND). Für die nachfolgenden Simulationen wird nur die Datenleitung D2 gespeist ( $U = 1\text{ V}$ ). Alle Leitungen sind beiderseits mit 50 Ohm terminiert. Die Kanten der Metallfläche haben die Längen A und B. Die Länge der Leitungen beträgt  $0,5 \cdot A$ . Der Abstand der fünf Leitungen ist jeweils  $B/20$ . Die Leitungen haben den Abstand C zur Metallfläche. Achten Sie darauf, alle metallischen Strukturen (Fläche und Drähte) als Union zu einem Objekt zu vereinen.

Gruppe	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
A in mm	300	300	300	320	320	320	300	300	300	320
B in mm	200	220	190	200	220	190	500	200	220	190
C in mm	20	20	20	25	25	25	28	28	28	28

2.2. Beim Meshen wählen Sie bitte die folgenden Einstellung, um eine hinreichende räumliche Auflösung zu erhalten:

Mesh size: custom  
 Triangle edge length  $\leq 15\text{ mm}$   
 Wire segment length  $\leq 5\text{ mm}$   
 Wire segment radius  $0.2\text{ mm}$   
 Weiterhin sollten Sie die Genauigkeit auf „double precision“ stellen.

2.3. Simulieren Sie die Stromverteilung in den Drähten und der Metallfläche für 1 MHz, 10 MHz und 100 MHz. Erstellen Sie ein Diagramm, welches den Betrag des Stromes in den Drahtsegmenten für alle drei Frequenzen darstellt.

2.4. Vergleichen Sie dieses Diagramm mit der 3D-Darstellung der Stromverteilung. Analysieren Sie die Unterschiede bei tiefen und hohen Frequenzen und schließen Sie daraus auf die Zuordnung der Segmente zu den fünf Leitungen in dem Modell. Begründen Sie Ihr Ergebnis. Hilfreich ist ggf. auch die Betrachtung der Phase, insbesondere bei der niedrigsten Frequenz.



