

# Nachrichtentechniklabor

Wintersemester 2014

## Übung C: RFID

Übungsdatum: 18.11.2014

Gruppe: 05

Protokollführer: Thomas Neff

Laborteilnehmer:

1. Daniel Freßl, 1230028
2. Thomas Neff, 1230319
3. Thomas Pichler, 1230320
4. Martin Winter, 1130688

Laborleiter: Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Erich Leitgeb

Betreuer: Paul Seebacher

Graz, am 17. November 2014

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Rückwirkungsfreie Messung des H-Feldes zweier PCD-Schleifenantennen mit unterschiedlichen Güten</b>	<b>2</b>
1.1	Aufgabenstellung . . . . .	2
1.2	Messaufbau . . . . .	2
1.3	Tabellen . . . . .	3
1.4	Formeln . . . . .	4
1.5	Berechnungsbeispiele . . . . .	4
1.6	Diagramme . . . . .	4
1.7	Geräteliste . . . . .	5
1.8	Diskussion . . . . .	6
<b>2</b>	<b>Messung der H-Feldstärke über der Frequenz bei unterschiedlichen Antennengüten</b>	<b>7</b>
2.1	Aufgabenstellung . . . . .	7
2.2	Messaufbau . . . . .	7
2.3	Tabellen . . . . .	8
2.4	Formeln . . . . .	8
2.5	Berechnungsbeispiele . . . . .	9
2.6	Diagramme . . . . .	9
2.7	Geräteliste . . . . .	9
2.8	Diskussion . . . . .	10
<b>3</b>	<b>Arbeitsbereich eines Lesegerätes</b>	<b>11</b>
3.1	Aufgabenstellung . . . . .	11
3.2	Messaufbau . . . . .	11
3.3	Tabellen . . . . .	11
3.4	Formeln . . . . .	12
3.5	Berechnungsbeispiele . . . . .	12
3.6	Diagramme . . . . .	13
3.7	Diskussion . . . . .	13
<b>4</b>	<b>Seitenbandpegel der Rückmodulation</b>	<b>14</b>
4.1	Aufgabenstellung . . . . .	14
4.2	Messaufbau . . . . .	14
4.3	Tabellen . . . . .	15
4.4	Formeln . . . . .	15
4.5	Berechnungsbeispiele . . . . .	15
4.6	Diagramme . . . . .	16
4.7	Diskussion . . . . .	16

# **1 Rückwirkungsfreie Messung des H-Feldes zweier PCD-Schleifenantennen mit unterschiedlichen Güten**

## **1.1 Aufgabenstellung**

Bei dieser Aufgabe sollten zwei Antennen mit unterschiedlicher Güte (5, 50) miteinander verglichen werden. Dazu soll die magnetische Feldstärke in Abhängigkeit von der Entfernung zur Antenne gemessen werden (in 5mm Schritten, von 0 bis 14cm).

Weiters soll die Anstiegszeit des Sendesignals, von 10% auf 90% der Trägersignalamplitude, für beide Antennen bestimmt werden.

## **1.2 Messaufbau**

Für den Messaufbau wurde ein speziell dafür modifizierter RFID-Reader mit regelbarer Ausgangsamplitude verwendet. Dieser wurde an einen Computer und einen Verstärker angeschlossen. Zwischen Verstärker und zu vermessender Antenne wurde ein Dämpfer (6db) eingebaut.

Die Antenne und die zur Messung verwendete Referenzspule wurden in einen verstellbaren Distanzhalter platziert. Zur Messung wurde die Referenzspule an ein Oszilloskop angeschlossen.

### 1.3 Tabellen

Distanz [cm]	Q=50 $U_i(pp)$ [V]	Q=5 $U_i(pp)$ [V]	Q=50 H(rms) [A/m]	Q=5 H(rms) [A/m]
0	2.9	0.894	3.167	0.976
0.5	2.75	0.863	3.003	0.942
1	2.61	0.813	2.85	0.888
1.5	2.44	0.756	2.664	0.826
2	2.25	0.706	2.457	0.771
2.5	2.06	0.637	2.249	0.696
3	1.89	0.584	2.064	0.638
3.5	1.7	0.531	1.86	0.579
4	1.55	0.481	1.69	0.525
4.5	1.39	0.434	1.52	0.474
5	1.25	0.425	1.37	0.464
5.5	1.13	0.425	1.23	0.464
6	1.01	0.425	1.102	0.464
6.5	0.92	0.425	1.004	0.464
7	0.82	0.425	0.895	0.464
7.5	0.75	0.425	0.819	0.464
8	0.68	0.425	0.743	0.464
8.5	0.62	0.425	0.677	0.464
9	0.55	0.425	0.6	0.464
9.5	0.5	0.425	0.546	0.464
10	0.46	0.425	0.502	0.464
10.5	0.41	0.425	0.448	0.464
11	0.38	0.425	0.415	0.464
11.5	0.35	0.425	0.382	0.464
12	0.32	0.425	0.349	0.464
12.5	0.29	0.425	0.317	0.464
13	0.29	0.425	0.317	0.464
13.5	0.29	0.425	0.317	0.464
14	0.29	0.425	0.317	0.464

Tabelle 1: Gemessene Spannung bei verschiedenen Höhen und Güten

## 1.4 Formeln

Diese Formel stellt den Zusammenhang zwischen induzierter Spannung und Feldstärke dar. Die verwendeten Parameter sind  $f_r = 13.56\text{MHz}$ ,  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{As}}{\text{Vm}}$ ,  $\mu_r = 1$  und  $A = 0.072 \cdot 0.042 \text{ m}^2$ .

$$U_{ind} = 2\pi \cdot f_r \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H \cdot A \quad (1)$$

Zusammenhang zwischen Spitze-Spitze-Spannung und dem Effektivwert der Spannung.

$$U_{pp} = \sqrt{2} \cdot 2 \cdot U_{ind} \quad (2)$$

## 1.5 Berechnungsbeispiele

Die Werte für das Berechnungsbeispiel wurden aus der Tabelle 1.3 Zeile 1 entnommen.

$$U_{ind} = \frac{U_{pp}}{\sqrt{2} \cdot 2} = \frac{2.9V}{\sqrt{2} \cdot 2} = 1.025V \quad (3)$$

$$H = \frac{U_{ind}}{2\pi \cdot f_r \cdot \mu_e \cdot \mu_r \cdot A} = \quad (4)$$

$$\frac{1.025V}{2\pi \cdot 13.56\text{MHz} \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{As}}{\text{Vm}} \cdot 1 \cdot 0.072\text{m} \cdot 0.042\text{m}} = 3.167 \frac{\text{A}}{\text{m}} \quad (5)$$

## 1.6 Diagramme

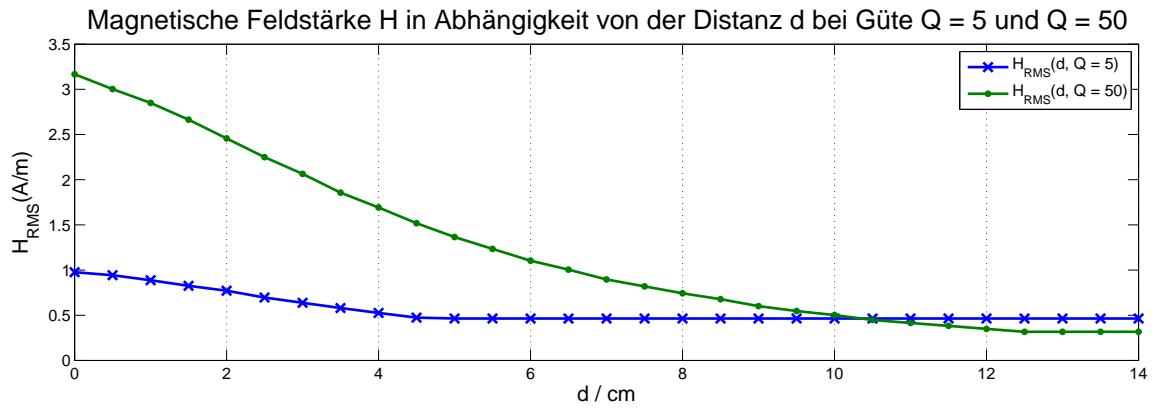


Abbildung 1: Verlauf der Feldstärke über die Entfernung für Q = 5 und Q = 50

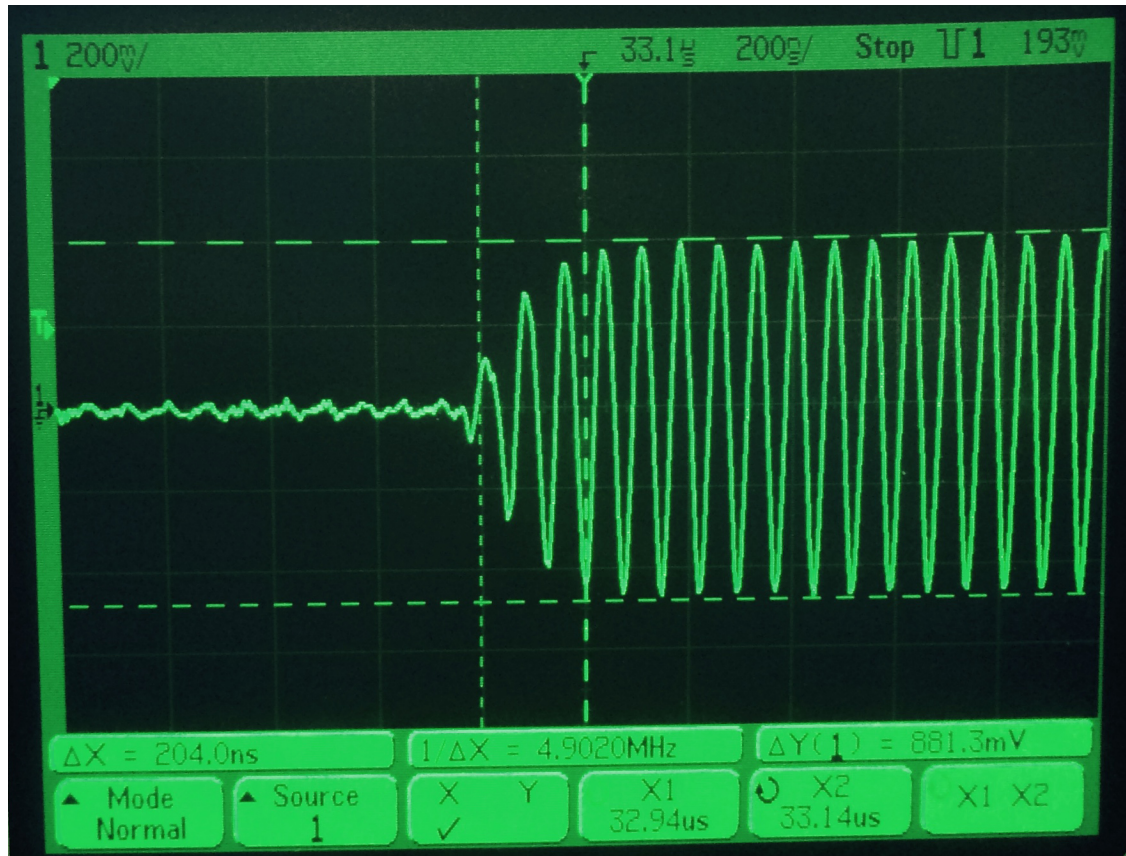


Abbildung 2: Messung der Anstiegszeit der Antenne mit  $Q = 5$  am Oszilloskop

## 1.7 Geräteliste

- Computer
- Reader: Labor-RFID-Reader
- Verstärker: Amplifier Research Model 75A250
- Dämpfer: 6dB
- Antennen: PCD-Schleifenantennen mit  $Q=5$  und  $Q=50$
- Referenzspule mit Abmessungen 72mm x 42mm
- Oszilloskop: Agilent 54622D
- Distanzhalter: verstellbar

## 1.8 Diskussion

Bei dieser Übung wurde jeweils eine Antenne (mit der Güte  $Q=5$ ,  $Q=50$ ) in den Aufbau eingesetzt und angeschlossen. Es wurde nur das Trägersignal ohne zusätzliche Information übertragen und mit der Referenzspule gemessen. Die Entfernung der Referenzspule zur Antenne wurde mit 5mm Schritten von 0cm auf 14cm verändert. Mit dem Oszilloskop wurde die Peak-Peak-Spannung gemessen.

Diese Spannung kann mit den oben angeführten Formeln in die magnetische Feldstärke umgerechnet werden. Bei der Umrechnung ist zu beachten, dass die magnetische Feldstärke als Effektivwert angegeben werden soll und die Spannung als Spitze-Spitze-Wert gemessen wird. Die gemessenen und berechneten Werte wurden in einem Diagramm (Abbildung 1) dargestellt.

Die magnetische Feldstärke ist bei der Antenne mit der Güte  $Q=50$  bis zu einer Entfernung von 10cm höher.

Zur Messung der Anstiegszeit wurde beim Oszilloskop der Single-Shot-Modus und Triggern an der fallenden Flanke mit nachfolgender Pause von  $1.5\mu s$  eingestellt.

Der Reader wurde über die Reader-Software am Computer zum Senden eines Lesebefehls veranlasst, welcher an der Referenzspule und somit am Oszilloskop die zum Triggern benötigte negative Flanke und nachfolgende Pulsbreite (Pause) erzeugt.

Nach dieser Pause steigt die Amplitude des Signals wieder auf die Amplitude des Trägersignals an. Die Zeit für diesen Anstieg von 10% auf 90% der Signalamplitude wurde mittels Marker am Oszilloskop gemessen.

- Antenne  $Q = 50$ :  $1.24\mu s$
- Antenne  $Q = 5$ :  $204ns$

Aus diesen Werten ist ersichtlich, dass die Anstiegszeit für höhere Güten größer wird. Somit kann mit Antenne mit höherer Güte zwar eine größere Reichweite aber eine geringere Datenrate erzielt werden.

## **2 Messung der H-Feldstärke über der Frequenz bei unterschiedlichen Antennengüten**

### **2.1 Aufgabenstellung**

Bei dieser Aufgabe soll der Frequenzgang beider Antennen ( $Q = 5$ ,  $Q = 50$ ) von 12MHz bis 15MHz aufgenommen werden.

### **2.2 Messaufbau**

Als Signalquelle wurde ein Funktionsgenerator verwendet, dieser wurde über den Verstärker und Dämpfer an die jeweilige Antenne angeschlossen. Die Antenne wurde mittig in den ISO-Aufbau eingebracht, auf einer Seite (der Helmholtz-Anordnung) wurde die Referenzspule befestigt. Die induzierte Spannung an der Referenzspule wurde auf einem Oszilloskop dargestellt.



## 2.3 Tabellen

Frequenz [MHz]	Q=50 $U_i(pp)$ [V]	Q=5 $U_i(pp)$ [V]	Q=50 H(rms) [A/m]	Q=5 H(rms) [A/m]
12	0.363	0.5	0.4479	0.6170
12.2	0.425	0.575	0.5158	0.6979
12.4	0.5	0.6	0.5971	0.7165
12.6	0.784	0.813	0.9214	0.9554
12.8	1	0.844	1.1568	0.9764
13	1.3	0.869	1.4808	0.9898
13.2	1.78	0.887	1.9968	0.9950
13.25	1.97	0.894	2.2016	0.9991
13.3	2.14	0.9	2.3826	1.0020
13.35	2.31	0.906	2.5622	1.0049
13.4	2.5	0.906	2.7626	1.0012
13.45	2.64	0.906	2.9065	0.9974
13.5	2.73	0.913	2.9944	1.0014
13.55	2.76	0.913	3.0162	0.9977
13.6	2.7	0.913	2.9397	0.9941
13.65	2.61	0.919	2.8313	0.9969
13.7	2.45	0.925	2.6481	0.9998
13.75	2.31	0.925	2.4877	0.9961
13.8	2.14	0.925	2.2962	0.9925
14	1.59	0.925	1.6817	0.9784
14.2	1.23	0.925	1.2826	0.9646
14.4	1.02	0.919	1.0489	0.9450
14.6	0.86	0.906	0.8722	0.9189
14.8	0.734	0.9	0.7344	0.9005
15	0.653	0.887	0.6446	0.8756

Tabelle 2: Gemessene Spannung und berechnete Feldstärke über die Frequenz

## 2.4 Formeln

Diese Formel stellt den Zusammenhang zwischen induzierter Spannung und Feldstärke dar. Die verwendeten Parameter sind  $f_r = 13.56\text{MHz}$ ,  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{As}}{\text{Vm}}$ ,  $\mu_r = 1$  und  $A = 0.072 \cdot 0.042 \text{ m}^2$ .

$$U_{ind} = 2\pi \cdot f_r \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H \cdot A \quad (6)$$

Zusammenhang zwischen Spitze-Spitze-Spannung und dem Effektivwert der Spannung.

$$U_{pp} = \sqrt{2} \cdot 2 \cdot U_{ind} \quad (7)$$

## 2.5 Berechnungsbeispiele

Die Werte für das Berechnungsbeispiel wurden aus der Tabelle 2 Zeile 1 entnommen.

$$U_{ind} = \frac{U_{pp}}{\sqrt{2} \cdot 2} = \frac{0.363V}{\sqrt{2} \cdot 2} = 0.1283V \quad (8)$$

$$H = \frac{U_{ind}}{2\pi \cdot f_r \cdot \mu_e \cdot \mu_r \cdot A} = \quad (9)$$

$$\frac{0.1283V}{2\pi \cdot 12MHz \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Vm} \cdot 1 \cdot 0,072m \cdot 0,042m} = 0.448 \frac{A}{m} \quad (10)$$

## 2.6 Diagramme

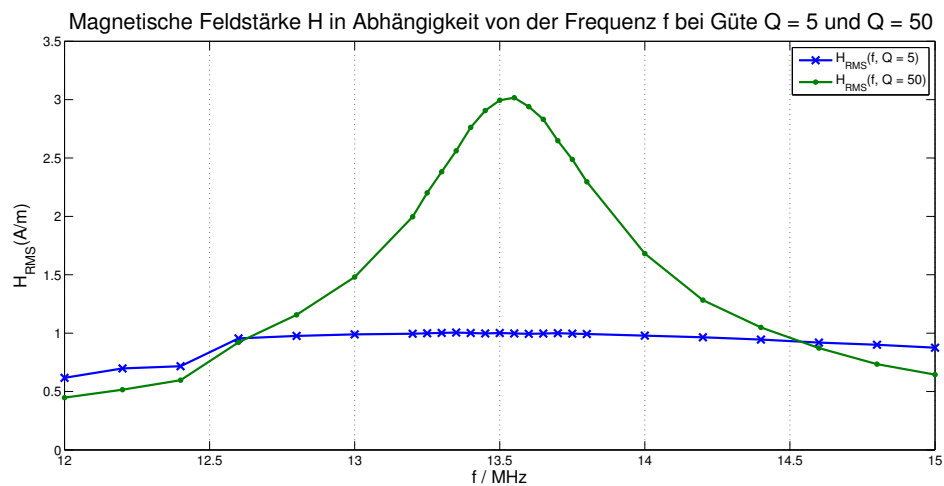


Abbildung 3: Frequenzgang beider Antennen

## 2.7 Geräteliste

- Funktionsgenerator: LeCroy LW120
- Verstärker: Amplifier Research Model 75A250
- Dämpfer: 6dB
- Antennen: PCD-Schleifenantennen mit Q=5 und Q=50
- Referenzspule mit Abmessungen 72mm x 42mm
- Oszilloskop: Agilent 54622D
- ISO-Aufbau

## 2.8 Diskussion

Am Funktionsgenerator wurden 13.56MHz und eine Amplitude von 100mV eingestellt. Der Verstärker wurde so eingestellt, das am Oszilloskop 2.77V Spitze-Spitze-Spannung abzulesen waren. Dies entspricht einer Feldstärke von  $3 \frac{\text{A}}{\text{m}}$ .

Während der Messung wurde der Frequenzgenerator von 12-15MHz in 200kHz Schritten verstellt und dabei die Spitze-Spitze-Spannung am Oszilloskop abgelesen. Um die Resonanzfrequenz wurden mehrere Werte in einem engeren Abstand von 50kHz abgelesen (13.2-13.8MHz). Diese Messung wurde für beide Antennen durchgeführt.

Für die Antenne mit der Güte 50 erkennt man rund um die Resonanzfrequenz einen starken Anstieg der magnetischen Feldstärke und genau auf der Resonanzfrequenz den Maximalwert von  $3.025 \frac{\text{A}}{\text{m}}$ . Für die Antenne mit der Güte 5 sieht man einen flacheren Verlauf der Kurve, der Maximalwert liegt bei  $0.982 \frac{\text{A}}{\text{m}}$ . Dieser ist allerdings bei 13.56 MHz zu finden, sondern bei 13.95MHz, da die Antenne in dem Aufbau leicht verstimmt war. Außerdem war zu sehen, das die Antenne mit niedrigerer Güte bei gleichem Aufbau und Verstärkung nur mehr  $\frac{1}{3}$  der Feldstärke erzeugt.

Aus Abbildung (3) erkennt man, das bei niedrigen sowie hohen Frequenzen die Antenne mit höhere Güte eine höhere Dämpfung aufweist.

### 3 Arbeitsbereich eines Lesegerätes

#### 3.1 Aufgabenstellung

Bei dieser Aufgabenstellung soll Referenz-PICC vermessen werden (Ausgegebene Gleichspannung bei gegebener Feldstärke). Weiters soll überprüft werden, ob eine gegebene Karte ISO-konform ist.

#### 3.2 Messaufbau

Die Antenne mit Güte 50 wurde über den Dämpfer und den Verstärker am Funktionsgenerator angeschlossen und in den ISO-Aufbau mittig eingebracht. Auf der einen Seite des ISO-Aufbaus wurde die Referenz-Spule und auf der anderen Seite der Referenz-PICC befestigt. Die Spannung der Referenz-Spule wurde mit dem Oszilloskop und die Gleichspannung am Referenz-PICC mit dem Multimeter gemessen.

Im zweiten Teil der Unterübung wurde statt dem ISO-Aufbau der Distanzhalter und statt dem Funktionsgenerator der RFID-Reader verwendet.

#### 3.3 Tabellen

$H(\text{rms})$ [A/m]	$U_i(pp)$ am Scope [V]	$U_i(pp)$ am Transponder [V]
0	0	0
0.498	0.456	0.982
0.997	0.913	1.933
1.4677	1.344	3.154
1.9656	1.8	4.21
2.4352	2.23	5.26
2.9375	2.69	6.29
3.4835	3.19	7.46
3.9421	3.61	8.5
4.4663	4.09	9.5
5.0123	4.59	10.52
5.4928	5.03	11.55
5.9733	5.47	12.55
6.4537	5.91	13.53
6.9233	6.34	14.55
7.4038	6.78	15.56
7.8515	7.19	16.5

Tabelle 3: Gleichspannung am PICC in Abhängigkeit der magnetischen Feldstärke

### 3.4 Formeln

Diese Formel stellt den Zusammenhang zwischen induzierter Spannung und Feldstärke dar. Die verwendeten Parameter sind  $f_r = 13.56\text{MHz}$ ,  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{As}}{\text{Vm}}$ ,  $\mu_r = 1$  und  $A = 0.072 \cdot 0.042 \text{ m}^2$ .

$$U_{ind} = 2\pi \cdot f_r \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H \cdot A \quad (11)$$

Zusammenhang zwischen Spitze-Spitze-Spannung und dem Effektivwert der Spannung.

$$U_{pp} = \sqrt{2} \cdot 2 \cdot U_{ind} \quad (12)$$

### 3.5 Berechnungsbeispiele

Die Werte für das Berechnungsbeispiel wurden aus der Tabelle 3 Zeile 2 entnommen.

$$U_{ind} = \frac{U_{pp}}{\sqrt{2} \cdot 2} = \frac{0.456V}{\sqrt{2} \cdot 2} = 0.161V \quad (13)$$

$$H = \frac{U_{ind}}{2\pi \cdot f_r \cdot \mu_e \cdot \mu_r \cdot A} = \quad (14)$$

$$\frac{0.161V}{2\pi \cdot 13.56\text{MHz} \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{As}}{\text{Vm}} \cdot 1 \cdot 0.072\text{m} \cdot 0.042\text{m}} = 0.498 \frac{\text{A}}{\text{m}} \quad (15)$$

### 3.6 Diagramme

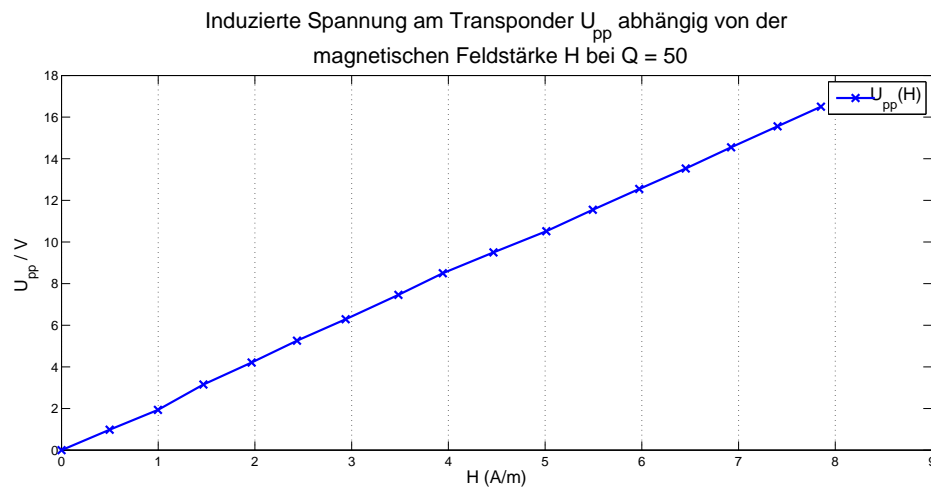


Abbildung 4: Verlauf der Spannung am Transponder bei verschiedenen magnetischen Feldstärken, bei einer Antennengüte von  $Q=50$

### 3.7 Diskussion

Am Beginn dieser Aufgabe wurde der Funktionsgenerator auf 13.56MHz und eine Amplitude von 100mV eingestellt. Die Verstärkung wurde so eingestellt, sodass an der Referenz-Spule 0.913V ( $1 \frac{A}{m}$ ) gemessen werden. Danach wurde die Amplitude des Funktionsgenerators in 50mV (entspricht  $0.5 \frac{A}{m}$ ) Schritten erhöht und die Spannung am Referenz-PICC gemessen. Wie aus Abbildung (4) ersichtlich, steigt die Spannung am Referenz-PICC linear mit der magnetischen Feldstärke.

Im zweiten Teil der Unterübung wurde der ISO-Aufbau mit dem Distanzhalter und der Funktionsgenerator mit dem (Mifare NXP)-Reader ersetzt. Der Abstand zwischen Reader und Referenz-PICC wurde solange verändert, bis man den Abstand bei ISO-konformen Wert von  $1.5 \frac{A}{m}$  (0.982V am PICC) ermittelt hat. Da dieser Abstand größer als die von der ISO-Norm geforderte Distanz war, ist der Reader ISO-Konform.

Weiters wurde statt dem Referenz-PICC ein Transponder (Karte) verwendet. Am PC wurde bei gesendetem Lesebefehl die ID des Transponders angezeigt.

Die maximale Funktionsweite der Lesegerät-Transponder-Kombination wurde mit 12 cm bestimmt. Dies ist möglich, da die Karte weniger als  $1.5 \frac{A}{m}$  zum Betrieb benötigt. Somit erfüllt auch die Karte die ISO-Norm deutlich.

## 4 Seitenbandpegel der Rückmodulation

### 4.1 Aufgabenstellung

Bei dieser Aufgabe galt es die Amplituden der beiden Seitenbänder der Rückmodulation vom Transponder zu ermitteln. Hierfür soll die Helmholtz-Anordnung verwendet werden. Mit Hilfe des Verstärkers soll die magnetische Feldstärke am Transponder von 1-6 A/m eingestellt werden. Danach soll eine ISO 14443 Karte in das Feld gebracht und ein Kommando über die PC-Software geschickt werden. Mit Hilfe der Helmholtz-Anordnung wird die Transponder-Antwort mit dem Oszilloskop aufgenommen. Die Amplituden der Seitenbänder werden mit Hilfe eines Oszilloskop-Screenshots und einer FFT-Software berechnet.

### 4.2 Messaufbau

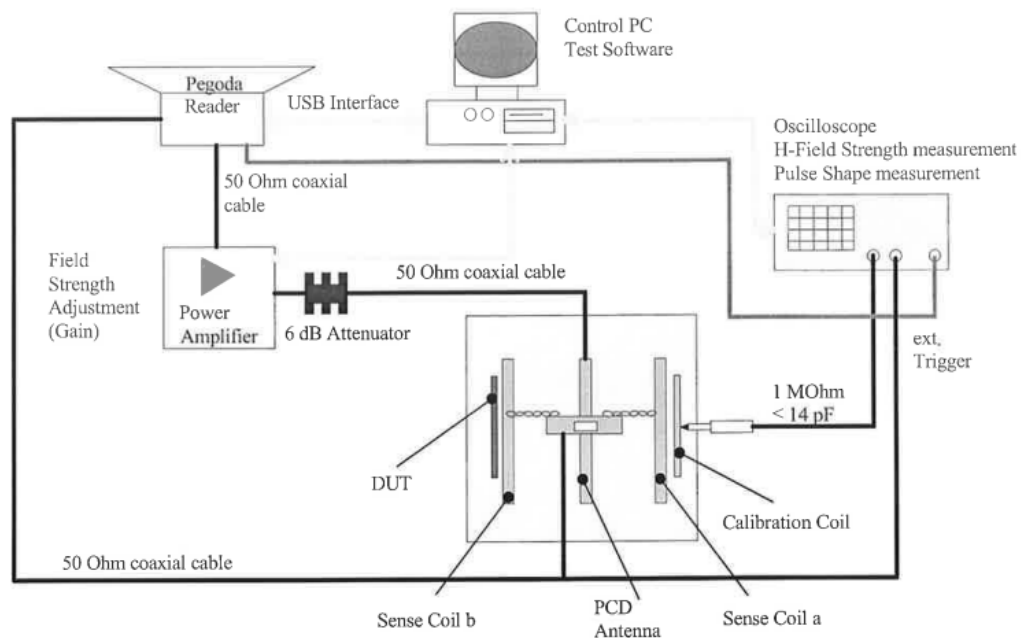


Abbildung 5: Messaufbau zu Aufgabe 4, entnommen aus Skript [1, S.39 Abbildung 42]

### 4.3 Tabellen

$U_{pp}$ [V]	H(rms) [A/m]	$U_i(pp)$ oberes Seitenband [mV]	$U_i(pp)$ unteres Seitenband [mV]
0.913	0.997	320.6	41.95
1.83	1.9984	866.21	727.24
2.75	3.003	158.54	32.35
3.69	4.0295	218.7	312.14
4.59	5.0123	175.37	61.54
5.53	6.0388	323.9	267.93

Tabelle 4: Amplitudenwerte der Seitenbänder bei verschiedenen magnetischen Feldstärken

### 4.4 Formeln

Diese Formel stellt den Zusammenhang zwischen induzierter Spannung und Feldstärke dar. Die verwendeten Parameter sind  $f_r = 13.56\text{MHz}$ ,  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{As}}{\text{Vm}}$ ,  $\mu_r = 1$  und  $A = 0.072 \cdot 0.042 \text{ mm}^2$ .

$$U_{ind} = 2\pi \cdot f_r \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H \cdot A \quad (16)$$

Zusammenhang zwischen Spitze-Spitze-Spannung und dem Effektivwert der Spannung.

$$U_{pp} = \sqrt{2} \cdot 2 \cdot U_{ind} \quad (17)$$

### 4.5 Berechnungsbeispiele

Die Werte für das Berechnungsbeispiel wurden aus der Tabelle (4) Zeile 1 entnommen.

$$U_{ind} = \frac{U_{pp}}{\sqrt{2} \cdot 2} = \frac{0.913\text{V}}{\sqrt{2} \cdot 2} = 0.323\text{V} \quad (18)$$

$$H = \frac{U_{ind}}{2\pi \cdot f_r \cdot \mu_e \cdot \mu_r \cdot A} = \frac{0.323\text{V}}{2\pi \cdot 13.56\text{MHz} \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{As}}{\text{Vm}} \cdot 1 \cdot 0.072\text{mm} \cdot 0.042\text{mm}} = 0.997 \frac{\text{A}}{\text{m}} \quad (19)$$

$$= 0.997 \frac{\text{A}}{\text{m}} \quad (20)$$



## 4.6 Diagramme

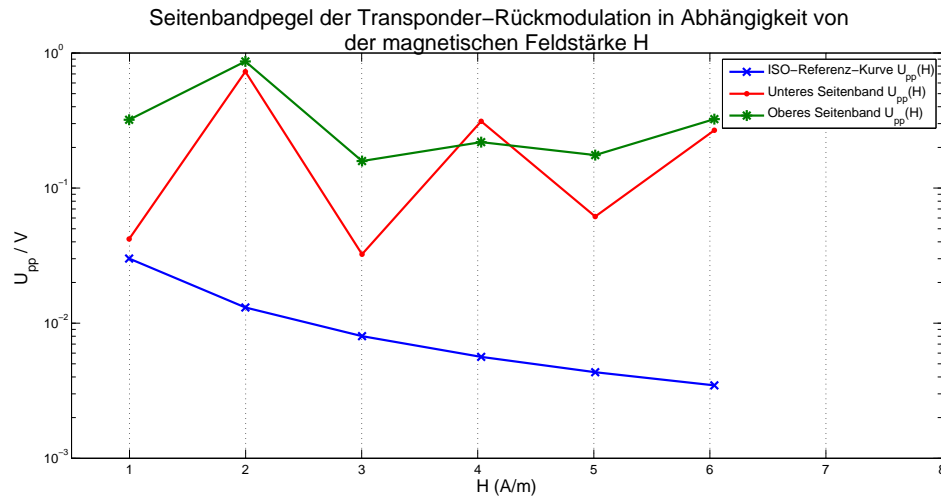


Abbildung 6: Seitenbandpegel bei verschiedenen Feldstärken im Vergleich zur ISO-Norm-Kurve

## 4.7 Diskussion

Um die Amplituden der Seitenbänder zu ermitteln wurde mit Hilfe des Oszilloskopes ein Single-Shot der Antwort der Karte aufgenommen. Dieses Ergebnis wurde als CSV auf eine Diskette gespeichert und am Computer wurde, mit Hilfe einer speziellen Software, daraus die FFT berechnet. Als Ergebnis haben wir die Amplitudenwerte des oberen und unteren Seitenbandes bekommen. Diese können aus Tabelle (4) entnommen werden. In Abbildung (5) wurden die beiden Seitenbänder über der magnetischen Feldstärke aufgetragen. Außerdem wurde der ISO-Grenzwert ( $U_i(pp) \geq \frac{30}{H^{1.2}}$ ) mit eingetragen. Wie aus der Abbildung entnommen werden kann, befinden sich beide Seitenbänder über dem von der ISO-Norm geforderten Wert.

## Literatur

- [1] Teresa Meier, Dipl.-Ing. Georg Egger, Dipl.-Ing. Dr Michael Gebhart  
Übung C: RFID  
Technische Universität Graz