



Universität Stuttgart



Institut für  
Robuste  
Leistungshalbleitersysteme

# Fachpraktikum (Bachelor)

## 6G HARDWARELABOR - DESIGN UND IMPLEMENTIERUNG EINES HF TRANSCEIVERS

---

### Versuch 2: Auslegung eines HF-Verstärkers

---

**Protokollführer**

Lukas Müller

Erik Zimmermann

Farhad Valizada

**Betreuer**

Simon Haussmann

**Eingereicht**

May 18, 2025

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>3</b>
<b>1 Einleitung(Farhad)</b>	<b>4</b>
1.1 Ziel des Versuchs . . . . .	4
1.2 Relevanz und Anwendungsbereiche von HF-Verstärkern . . . . .	4
<b>2 Theoretische Grundlagen(Lukass)</b>	<b>5</b>
2.1 Funktion eines HF-Verstärkers . . . . .	5
2.2 Arbeitspunkteinstellung . . . . .	5
2.3 Bedeutung der S-Parameter . . . . .	5
2.4 (rolle kopplungskodensator) . . . . .	5
<b>3 HF-Simulation(Charhad)</b>	<b>6</b>
3.1 Inbetriebnahme von Keysight Advanced Design System (ADS) . . . . .	6
3.1.1 Installation von ADS . . . . .	6
3.1.2 Erstellen eines neuen Projekts . . . . .	6
3.1.3 Vertrautmachen mit der Benutzeroberfläche . . . . .	6
3.2 Analyse des Datenblattes zu Transistor BFR181W . . . . .	7
3.3 DC-Simulation . . . . .	7
3.4 S-Parameter-Simulation . . . . .	9
<b>4 Technische Umsetzung(Erik)</b>	<b>10</b>
4.1 Platinen Aufbau . . . . .	10
4.2 DC-Pegel Verifizieren . . . . .	10
4.3 Kalibrierung . . . . .	10
4.4 Vergleich zur Simulation . . . . .	10
<b>5 Diskussion der Ergebnisse(GangBang)</b>	<b>12</b>
5.1 Vergleich von Theorie und Praxis . . . . .	12
5.2 Erklärung von Abweichungen . . . . .	12
<b>6 Fazit(Jeder)</b>	<b>13</b>
6.1 Zusammenfassung der wichtigsten Erkenntnisse . . . . .	13
6.2 Reflexion und mögliche Verbesserungen . . . . .	13
6.3 Eigene Reflexion . . . . .	13
6.3.1 Erik . . . . .	13
6.3.2 Farhad . . . . .	13
6.3.3 Lukas . . . . .	13



# Abkürzungsverzeichnis

<b>ADS</b>	Advanced Design System
<b>HF</b>	Hochfrequenz
<b>6G</b>	Sixth Generation
<b>SMA</b>	SubMiniature version A
<b>PCB</b>	Printed Circuit Board

# Kapitel 1

## Einleitung(Farhad)

### 1.1 Ziel des Versuchs

blabla test

### 1.2 Relevanz und Anwendungsbereiche von HF-Verstärkern

blabla

## Kapitel 2

# Theoretische Grundlagen(Lukass)

### 2.1 Funktion eines HF-Verstärkers

Ein Verstärker ist ein elektronisches Gerät, mit mindestens einem aktiven Bauelement wie zum Beispiel einem Transistor. Das Ziel eines Verstärkers ist dass, das Ausgangssignal größer als das Eingangssignal ist. Da hierbei dem Signal Leistung hinzugefügt wird, muss ein Verstärker eine eigene Energiequelle haben.

Besonders in der Hochfrequenztechnik (HF) spielt der Verstärker eine wichtige Rolle. Soll zum Beispiel mithilfe einer Antenne noch in weiter Entfernung ein Signal gemessen werden, muss dies zuerst verstärkt werden.

Normalerweise werden im Hochfrequenzbereich Frequenzen von 10 kHz bis 100.000 MHz verstärkt.

### 2.2 Arbeitspunkteinstellung

### 2.3 Bedeutung der S-Parameter

### 2.4 (Rolle Kopplungskondensator)

blabla

## Kapitel 3

# HF-Simulation(Charhad)

### 3.1 Inbetriebnahme von Keysight Advanced Design System (ADS)

#### 3.1.1 Installation von ADS

Die Software Advanced Design System ([ADS](#)) dient zur Simulation von Schaltungen verschiedener Komplexitätsgrade. In diesem Versuch wird die Software verwendet, um eine Hochfrequenzschaltung zu simulieren und zu analysieren. Die Software bietet eine Vielzahl von Funktionen, darunter die Möglichkeit, Schaltungen zu entwerfen, S-Parameter zu simulieren und verschiedene Analysewerkzeuge zu verwenden.

#### 3.1.2 Erstellen eines neuen Projekts

Die Software ist auf den Rechnern im Labor bereits installiert gewesen. Nach dem Start der Software wird ein neues Projekt aus den bereits zur Verfügung stehenden Workspaces erstellt. Diese sind auf der ILIAS-Seite des Praktikums in dem Dateiarchiv `TransmitterAmpDesign 2024.zip` hinterlegt. Die Datei wird entpackt und in der Software geöffnet. Außerdem werden die benötigten Bibliotheken aus dem Dateiarchiv `Infineon-RFTransistor-Keysight ADS Design Kit-SM-v02 10-EN.zip` geladen, diese stehen ebenfalls auf der ILIAS-Seite zur Verfügung.

#### 3.1.3 Vertrautmachen mit der Benutzeroberfläche

Schließlich werden die Tutorials 1 und 2 von [ADS](#) durchgearbeitet, um sich mit der Benutzeroberfläche und den grundlegenden Funktionen der Software vertraut zu machen.

The circuit diagram shows a BJT model BFR1815. The base is connected to a current source SRC5 (1 nA) and a base-emitter voltage measurement (13.5 nA). The collector is connected to a collector-emitter voltage measurement (14.5 nA) and a collector current measurement (-14.5 nA). The emitter is connected to ground. The circuit is powered by a 13.5 nA source (V\_DC SRC2) and a 14.5 nA source (V\_DC SRC2).

### 3.2 Analyse des Datenblattes zu Transistor BFR181W

Die Tabelle “Maximum Ratings at  $T_A = 25^\circ\text{C}$ , unless otherwise specified” unten links auf Seite 1 des Dokuments zeigt, dass der maximal zulässige Kollektorstrom  $I_{C,\text{max}}$  20 mA beträgt.

Im folgendem wird eine DC-Simulation der später aufzubauenden Schaltung durchgeführt. Außerdem werden die Arbeitspunkte optimal durch die Anpassung der Widerstandswerte eingestellt. Die DC-Simulation wird in [ADS](#) durchgeführt, um die DC-Pegel der Schaltung zu überprüfen.

- $U_{CC} = 4.8 \text{ V}$
- $U_{BE} = 0.77 \text{ V}$



Zuerst wird der Kollektorwiderstand  $R_5$  passend gewählt, sodass der Kollektorstrom  $I_C$  auf 75 % des maximal zulässigen Kollektorstroms  $I_{C,\max}$  gesetzt wird. Dies geschieht, indem der Widerstandswert  $R_5$  so gewählt wird, dass der Kollektorstrom  $I_C$  15 mA beträgt. Der Widerstandswert  $R_5$  wird mit folgender Formel berechnet:

$$R_5 = \frac{U_{CC} - U_{CE}}{I_C} = \frac{4.8 \text{ V}}{15 \text{ mA}} = 320 \, \Omega \quad (3.1)$$

Bei der Verwendung der E12-Reihe wird eine Faustregel verwendet, nach der man die Widerstandswerte auf die nächstgelegene E12-Reihe aufrundet. Somit beträgt der Widerstandswert von  $R_5$   $330 \, \Omega$ . Dadurch wird der in den Kollektor eingehende Strom beschränkt, was eine Überlastung des Transistors im Dauerbetrieb vorbeugt. Bei der Wahl eines niedrigeren Widerstandswertes würde der Kollektorstrom  $I_C$  den maximalen Kollektorstrom  $I_{C,\max}$  überschreiten, was zu einer Überlastung des Transistors führen würde.

## Dimensionierung des Basis-Spannungsteilers

Um einen Arbeitspunkt mit  $I_C \approx 10 \text{ mA}$  zu erreichen, wird der Basis-Spannungsteiler dimensioniert. Die Basis-Emitter-Spannung beträgt  $U_{BE} \approx 0,7 \text{ V}$ . Der Emitterwiderstand wird hier vernachlässigt.

Der Basisstrom berechnet sich zu:

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} \quad (3.2)$$

Für einen typischen Verstärkungsfaktor  $\beta = 100$  ergibt sich:

$$I_B = \frac{10 \text{ mA}}{100} = 0,1 \text{ mA} = 100 \, \mu\text{A} \quad (3.3)$$

Der Querstrom des Spannungsteilers  $I_Q$  sollte mindestens das 10-fache des Basisstroms betragen:

$$I_Q = 10 \cdot I_B = 1,0 \text{ mA} \quad (3.4)$$

Die Basisspannung  $U_B$  ergibt sich zu:

$$U_B = U_{BE} + U_E \approx 0,77 \text{ V} \quad (3.5)$$

Angenommen, die Betriebsspannung ist  $U_{CC} = 4,8 \text{ V}$ , ergibt sich für die Widerstände  $R_4$  (oben) und  $R_3$  (unten):

$$R_3 = \frac{U_B}{I_Q} = \frac{0,77 \text{ V}}{1,0 \text{ mA}} = 0,77 \text{ k}\Omega \quad (3.6)$$

$$R_4 = \frac{U_{CC} - U_B}{I_Q} = \frac{4,8 \text{ V} - 0,77 \text{ V}}{1,0 \text{ mA}} = 4,03 \text{ k}\Omega \quad (3.7)$$

Nach der Berechnung ergibt sich für  $R_3$  ein Wert von  $0,77 \text{ k}\Omega$ . In der praktischen Simulation mit ADS zeigte sich jedoch, dass mit diesem Wert ein negatives Gain bei der S-Parameter-Simulation auftritt. Daher wird  $R_3$  nach der E12-Reihe auf  $1,0 \text{ k}\Omega$  erhöht, um einen stabilen Arbeitspunkt und ein positives Verstärkungsverhalten zu gewährleisten.

Mit der E12-Reihe werden gewählt:



$$R_3 = 1,0 \text{ k}\Omega$$

$$R_4 = 4,7 \text{ k}\Omega$$

Damit ist der Spannungsteiler dimensioniert, sodass im Arbeitspunkt ein Kollektorstrom von ca.  $10 \text{ mA}$  zu erwarten ist und die Simulation ein positives Gain liefert.

### 3.4 S-Parameter-Simulation

Schließlich wird die S-Parameter-Simulation durchgeführt. Diese ist wichtig, um einen angemessenen Gain bei der Übertragung zu gewährleisten. Die S-Parameter-Simulation wird in [ADS](#) nach folgenden Schritten durchgeführt:

- Im ADS-Model wird die Kommentierung des S-Parameter-Controllers aufgehoben, also die S-Parameter-Einstellung wird aktiviert.
- Da jetzt die DC-Simulation überflüssig ist, wird diese deaktiviert.
- Vor der Simulation wird die Schrittweite des S-Parameter-Controllers auf  $250 \text{ MHz}$  gesetzt, sodass man die Qualität des Frequenz-Sweeps verbessert. 
- Nach der Simulation wird das Ergebnis in einem neuen Fenster angezeigt. Hier wählt man die Schaltfläche "Insert A New Marker" aus . Wir setzen den Marker auf den Punkt unserer Arbeitsfrequenz, also bei  $1,25 \text{ GHz}$ .
- Es wird

## Kapitel 4

# Technische Umsetzung(Erik)

### 4.1 Platinen Aufbau

### 4.2 DC-Pegel Verifizieren

### 4.3 Kalibrierung

### 4.4 Vergleich zur Simulation

adkafdkadfasdkl

## Kapitel 5

# Diskussion der Ergebnisse(GangBang)

### 5.1 Vergleich von Theorie und Praxis

### 5.2 Erklärung von Abweichungen

bla bla

# Kapitel 6

## Fazit(Jeder)

6.1 Zusammenfassung der wichtigsten Erkenntnisse

6.2 Reflexion und mögliche Verbesserungen

6.3 Eigene Reflexion

6.3.1 Erik

6.3.2 Farhad

6.3.3 Lukas

bla bla

# Literaturverzeichnis

- [1] Infineon Technologies AG: *BFR181W Silicon NPN RF Transistor*, Datenblatt, 2017. Online verfügbar unter: [https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-BFR181W-DS-v02\\_00-en.pdf](https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-BFR181W-DS-v02_00-en.pdf)
- [2] <https://www.atecorp.com/solutions/what-is-an-rf-amplifier> (zugegriffen am 17.04.2025)
- [3] [https://de.wikipedia.org/wiki/Verst%C3%A4rker\\_\(Elektrotechnik\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Verst%C3%A4rker_(Elektrotechnik)) (zugegriffen am 17.04.2025)