Generierung des Eingangssingals für Barrier Bucket RF Systeme and der GSI

Jonas Christ, Artem Moskalew, Maximilian Nolte
Jens Harzheim, M.Sc.

Projektseminar Beschleunigertechnik

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

T E M F
Institut für Theorie Elektromagnetischer Felder
Computational Electromagnetics Research Group at GSCE

Outline

Problemstellung

- Barrier-Bucket System

Problemstellung

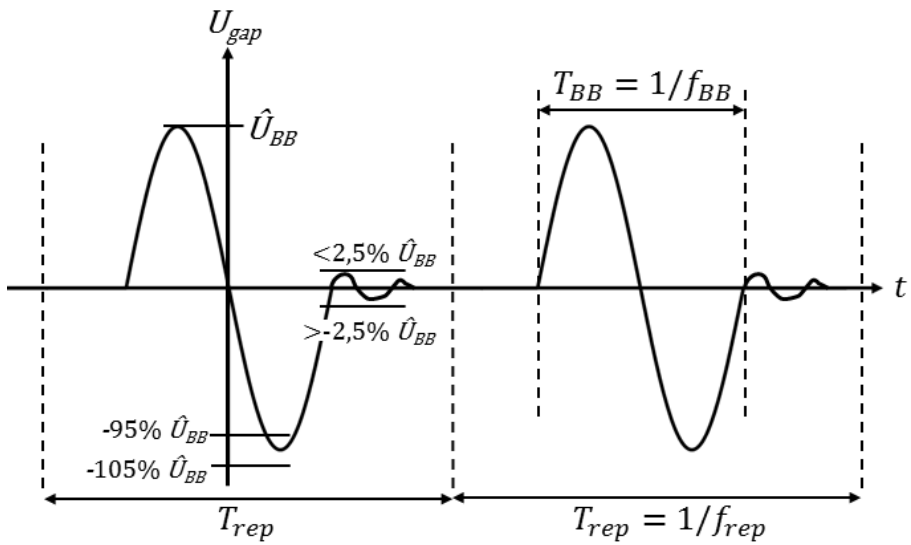
- Barrier-Bucket System :
  - Longitudinale Manipulation des Teilchenstrahls

Problemstellung

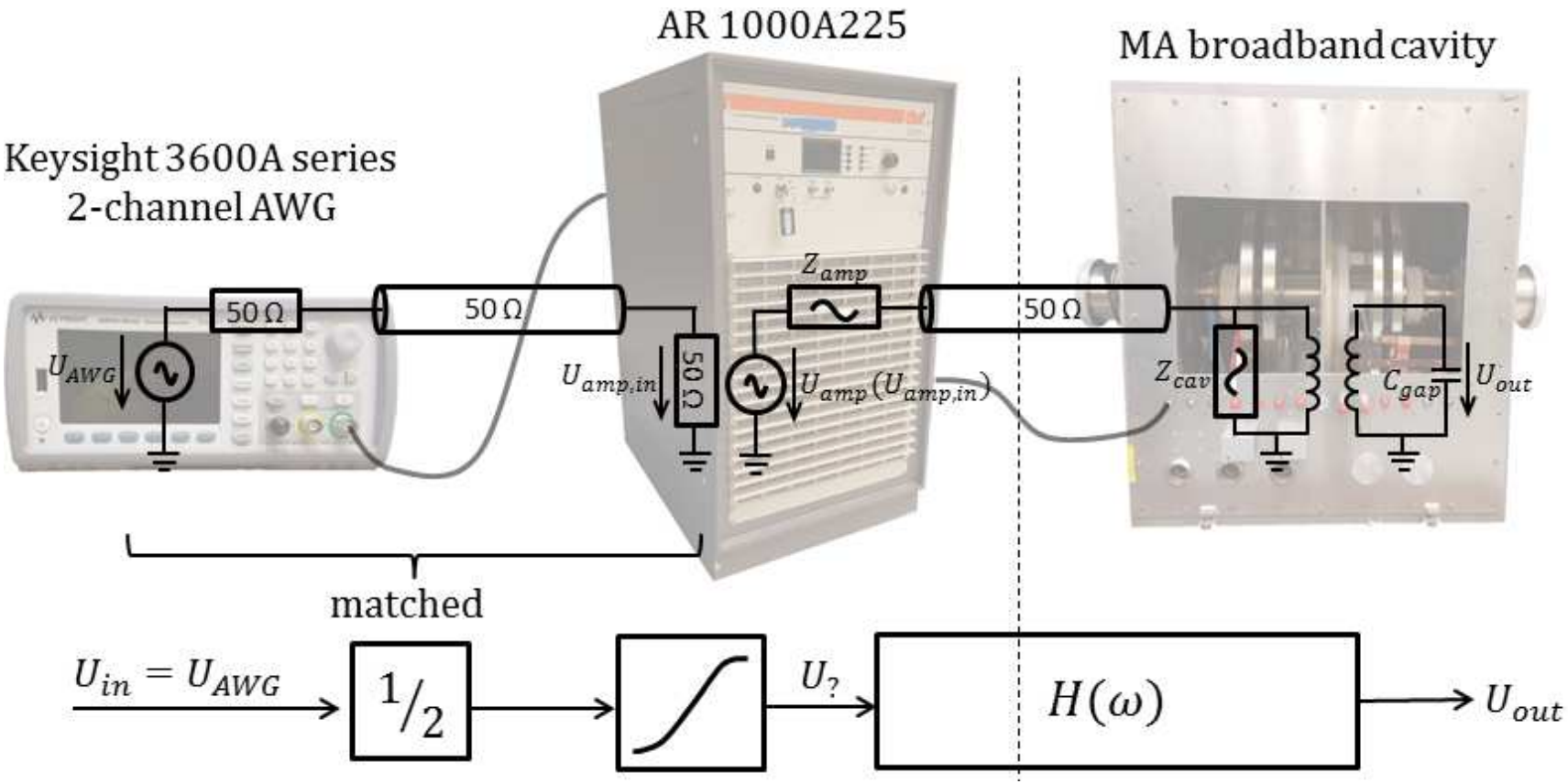
- Barrier-Bucket System :
  - Longitudinale Manipulation des Teilchenstrahls
- Ziel

Problemstellung

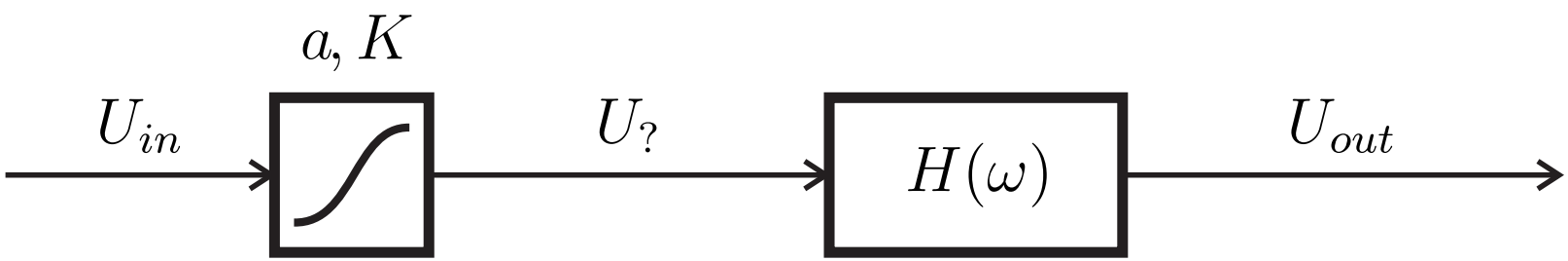
- Barrier-Bucket System :
  - Longitudinale Manipulation des Teilchenstrahls
- Ziel :
  - Gap Spannung in Form einer Ein-Sinus Periode
  - Qualität das Signals



Aufbau und Modell

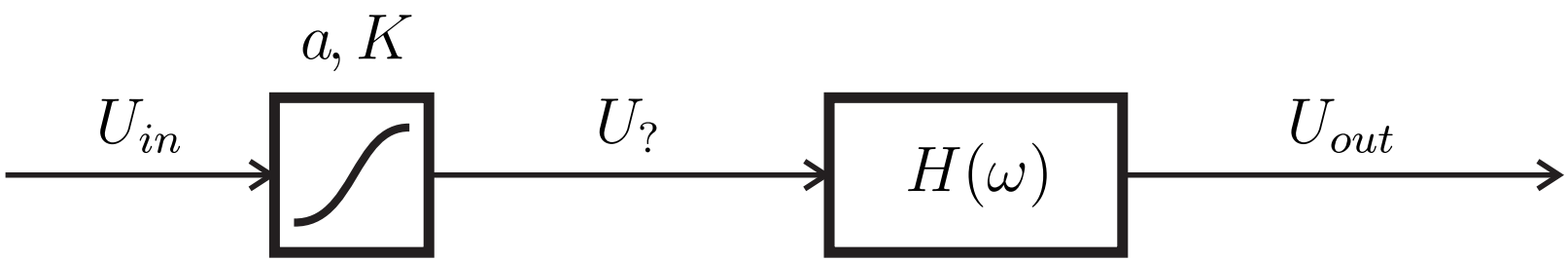


Aufbau und Modell



Aufbau und Modell

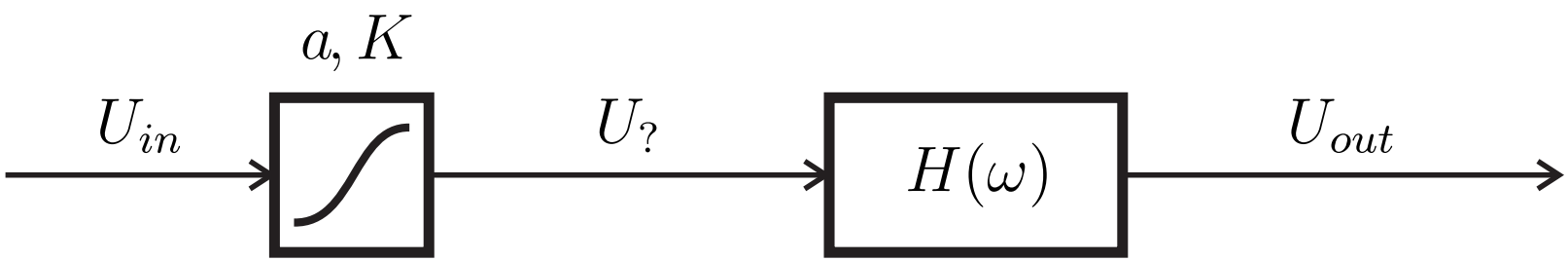
- Gegeben:
  - Lineare Übertragungsfunktion H bestimmt durch Pseudorauschen
  - System linear bis $\hat{U}_{BB} \approx 550\,V$ genähert



Aufbau und Modell

- Gegeben:
  - Lineare Übertragungsfunktion H bestimmt durch Pseudorauschen
  - System linear bis $\hat{U}_{BB} \approx 550\,V$ genähert
- Hammerstein Modell :
  - Ergänzung um eine nichtlineare Vorverzerrung mit einem Potenzreihenansatz

$$U_?(t) = \sum_{n=1}^{N} a_n \, [U_{in}(t)]^n \qquad \underline{U}_{out}(\omega) = H(\omega) \cdot \underline{U}_?(\omega)$$

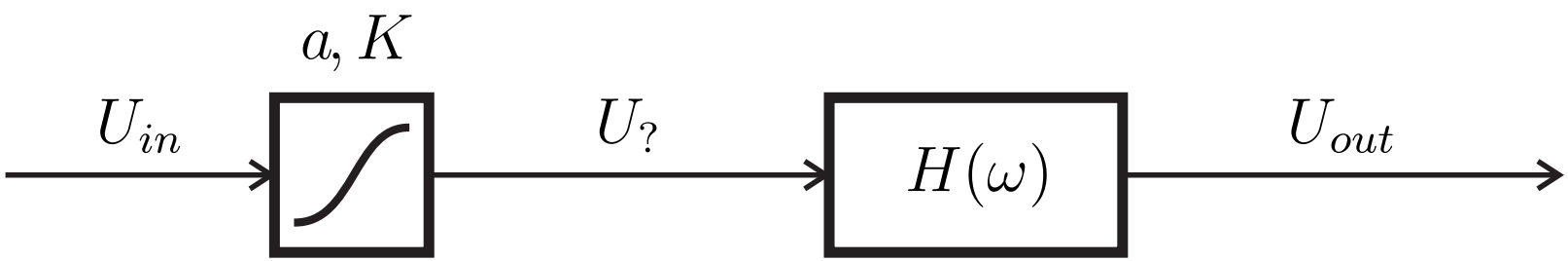


Aufbau und Modell

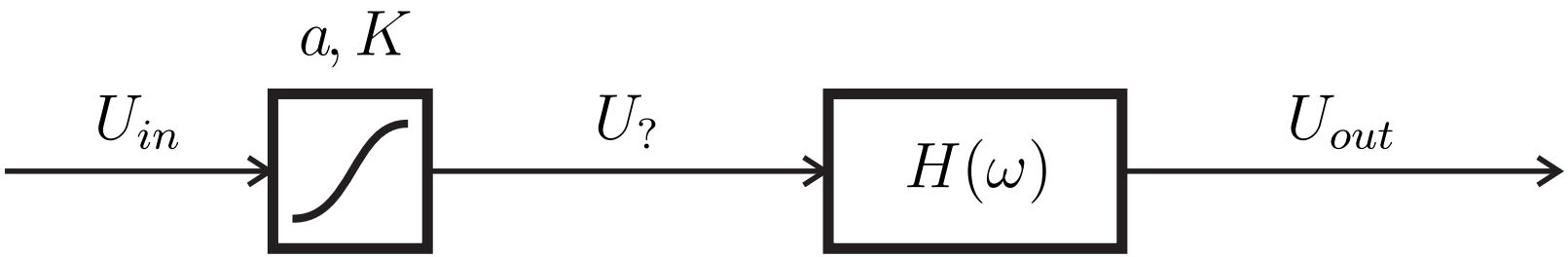
- Gegeben:
  - Lineare Übertragungsfunktion H bestimmt durch Pseudorauschen
  - System linear bis $\hat{U}_{BB} \approx 550\,V$ genähert
- Hammerstein Modell :
  - Ergänzung um eine nichtlineare Vorverzerrung mit einem Potenzreihenansatz

$$U_?(t) = \sum_{n=1}^{N} a_n \, [U_{in}(t)]^n \qquad \underline{U}_{out}(\omega) = H(\omega) \cdot \underline{U}_?(\omega)$$

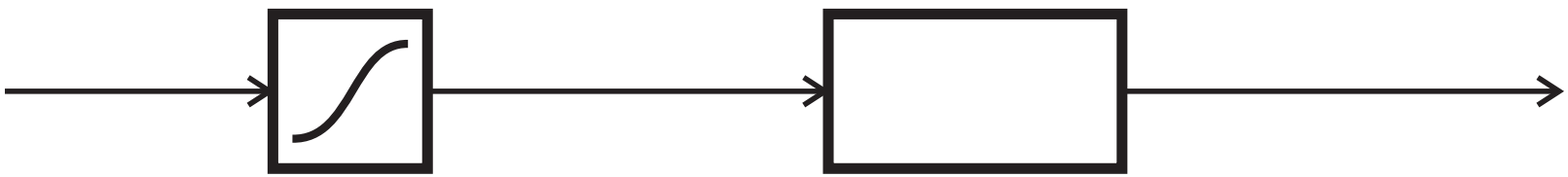
- Zielsetzung :
  - Parameter a_n der Kennlinie K zubestimmen
  - Ersten Optimierungs Ansatz implementieren



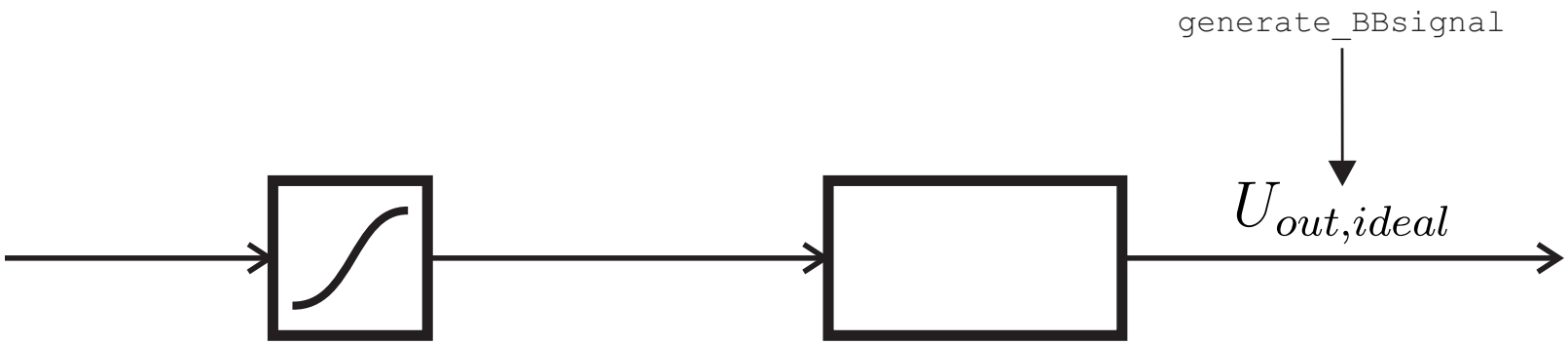
Code: Die Bausteine



Code: Die Bausteine

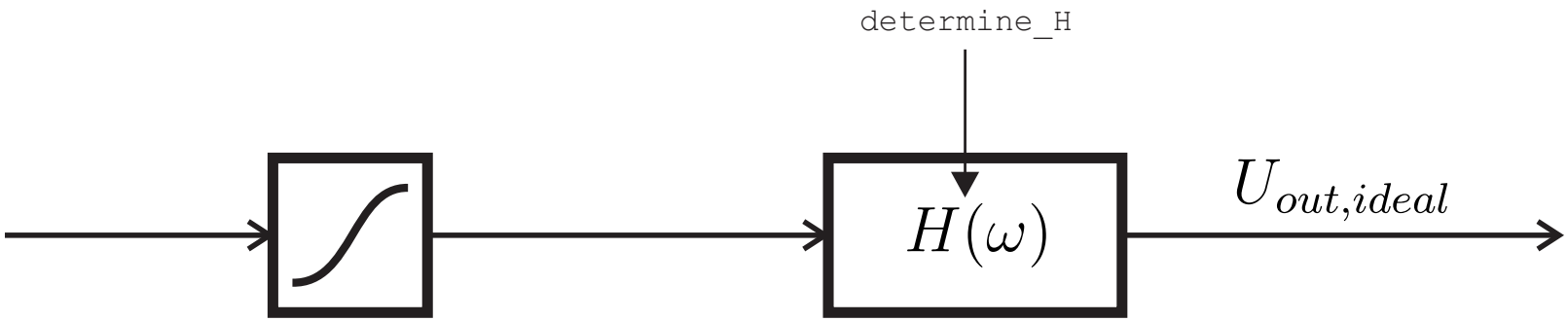


Code: Die Bausteine



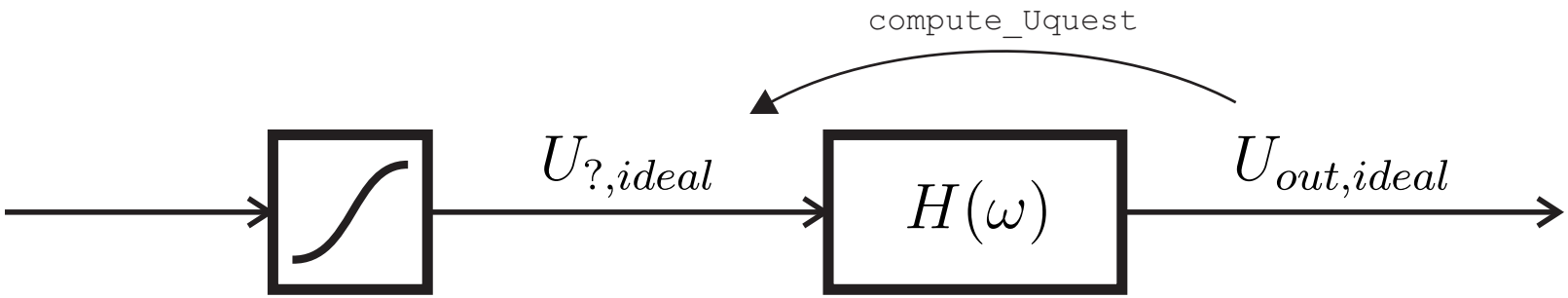

```
1 Uout_ideal = generate_BBsignal ( fq_rep , fq_bb , vpp )
```

Code: Die Bausteine



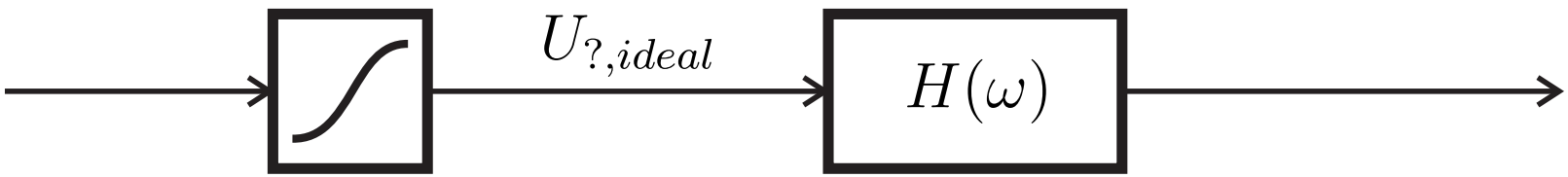

```
1 Uout_ideal = generate_BBsignal ( fq_rep, fq_bb, vpp )
2 H = determine_H ( )
```

Code: Die Bausteine



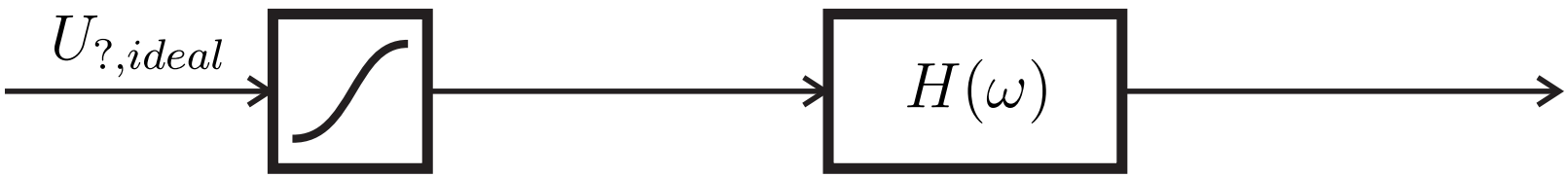

```
1 Uout_ideal = generate_BBsignal ( fq_rep, fq_bb, vpp )
2 H = determine_H ( )
3 Uquest_ideal = compute_Uquest ( Uout_ideal, H )
```

Code: Die Bausteine



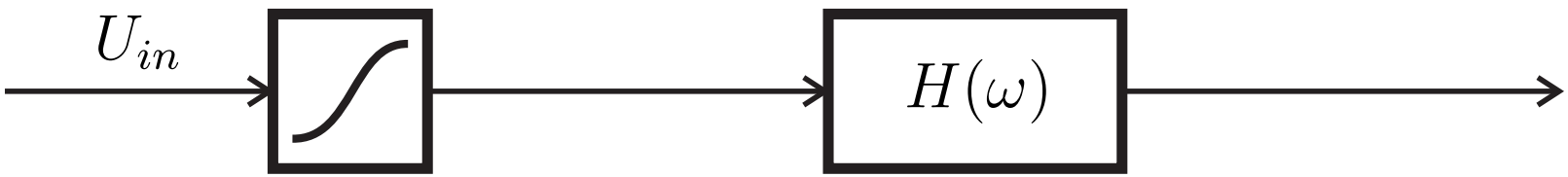

```
1 Uout_ideal = generate_BBsignal ( fq_rep, fq_bb, vpp )
2 H = determine_H ( )
3 Uquest_ideal = compute_Uquest ( Uout_ideal, H )
```

Code: Die Bausteine



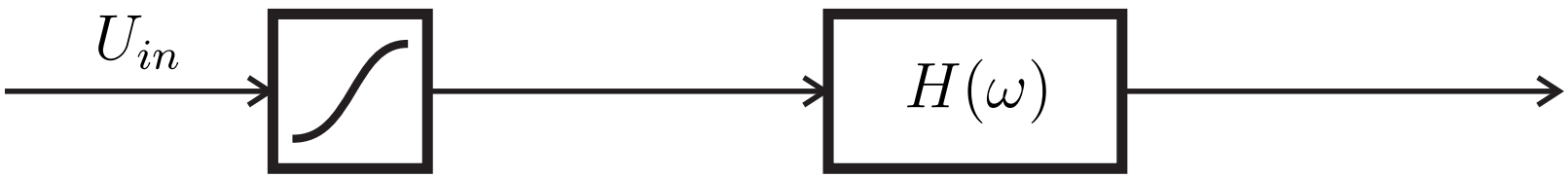

```
1 Uout_ideal = generate_BBsignal ( fq_rep , fq_bb , vpp )
2 H = determine_H ( )
3 Uquest_ideal = compute_Uquest ( Uout_ideal , H )
```

Code: Die Bausteine



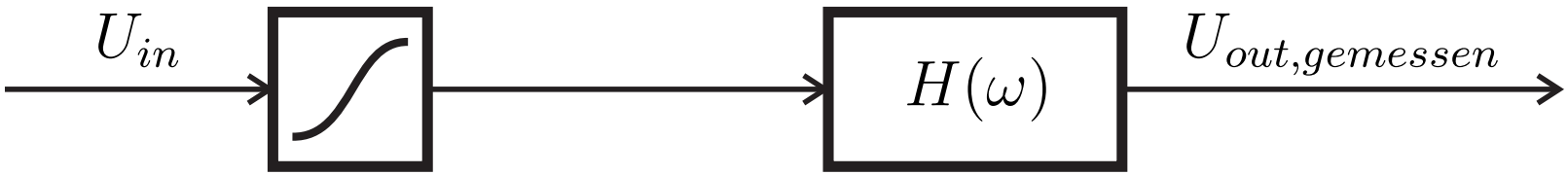

```
Uout_ideal = generate_BBsignal ( fq_rep, fq_bb, vpp )
H = determine_H ( )
Uquest_ideal = compute_Uquest ( Uout_ideal, H )
Uin = Uquest_ideal
```

Code: Die Bausteine



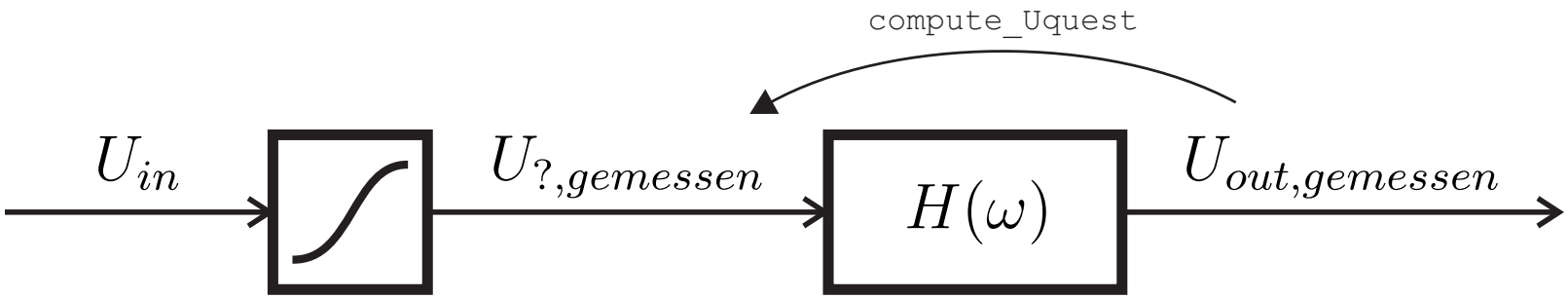

```
Uout_ideal = generate_BBsignal ( fq_rep, fq_bb, vpp )
H = determine_H ( )
Uquest_ideal = compute_Uquest ( Uout_ideal, H )
Uin = Uquest_ideal
Uout_measured = measure_Uout ( Uin )
```

Code: Die Bausteine



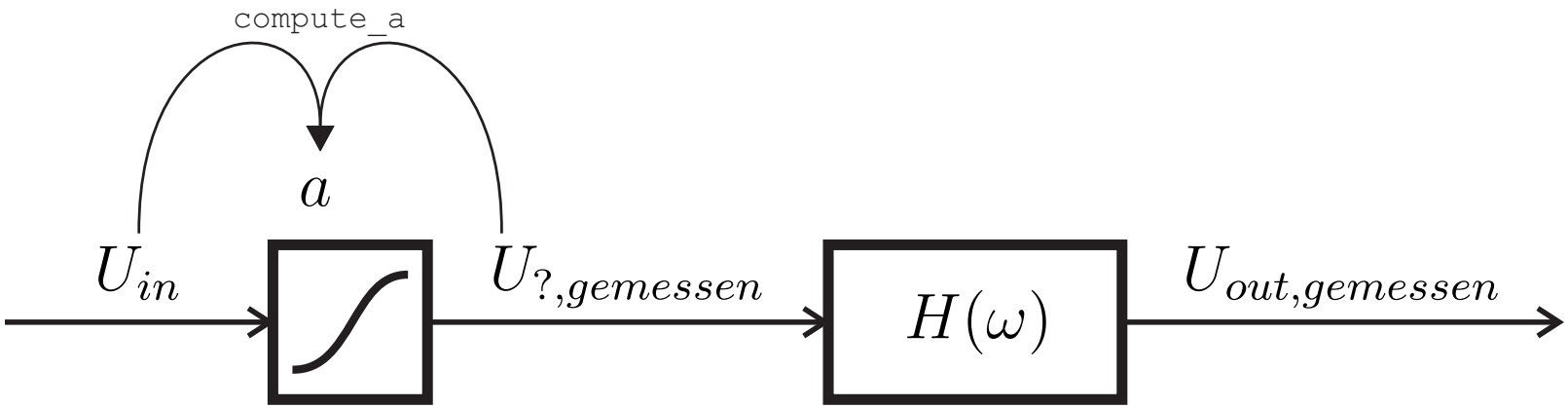

```
1 Uout_ideal = generate_BBsignal ( fq_rep, fq_bb, vpp )
2 H = determine_H ( )
3 Uquest_ideal = compute_Uquest ( Uout_ideal, H )
4 Uin = Uquest_ideal
5 Uout_measured = measure_Uout ( Uin )
```

Code: Die Bausteine



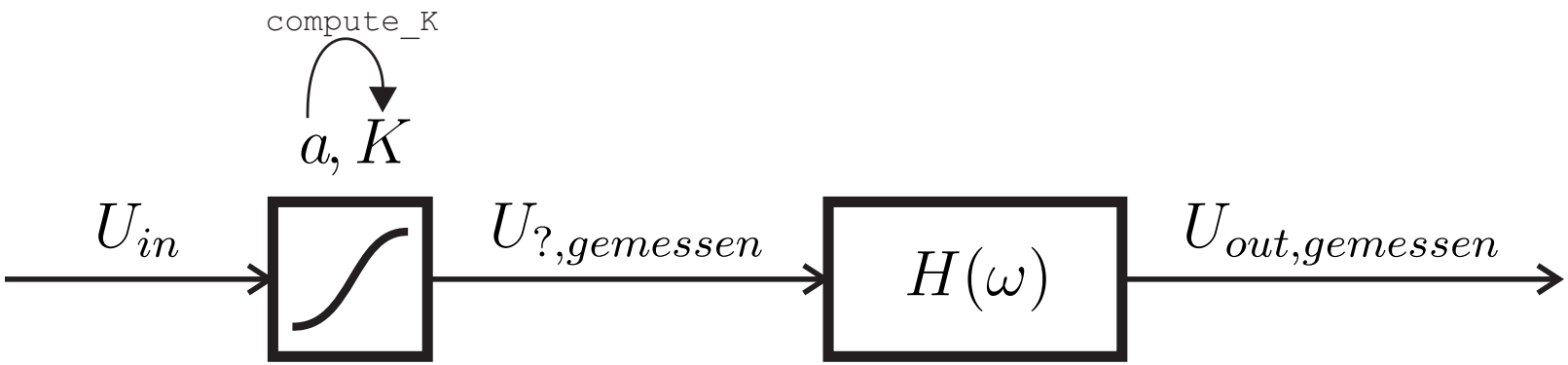

```
Uout_ideal = generate_BBsignal ( fq_rep, fq_bb, vpp )
H = determine_H ( )
Uquest_ideal = compute_Uquest ( Uout_ideal, H )
Uin = Uquest_ideal
Uout_measured = measure_Uout ( Uin )
Uquest_measured = compute_Uquest ( Uout_measured, H )
```

Code: Die Bausteine



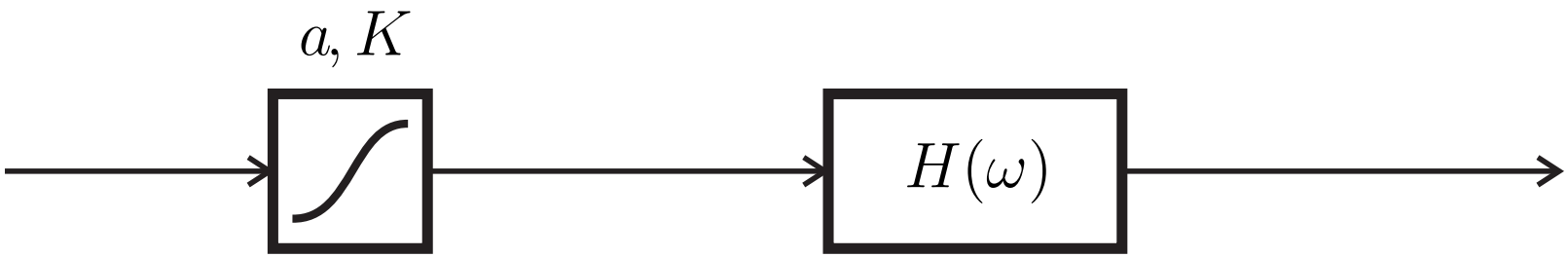

```
1 Uout_ideal = generate_BBsignal ( fq_rep, fq_bb, vpp )
2 H = determine_H ( )
3 Uquest_ideal = compute_Uquest ( Uout_ideal, H )
4 Uin = Uquest_ideal
5 Uout_measured = measure_Uout ( Uin )
6 Uquest_measured = compute_Uquest ( Uout_measured, H )
7 a = compute_a ( Uin, Uquest_measured, N )
```

Code: Die Bausteine



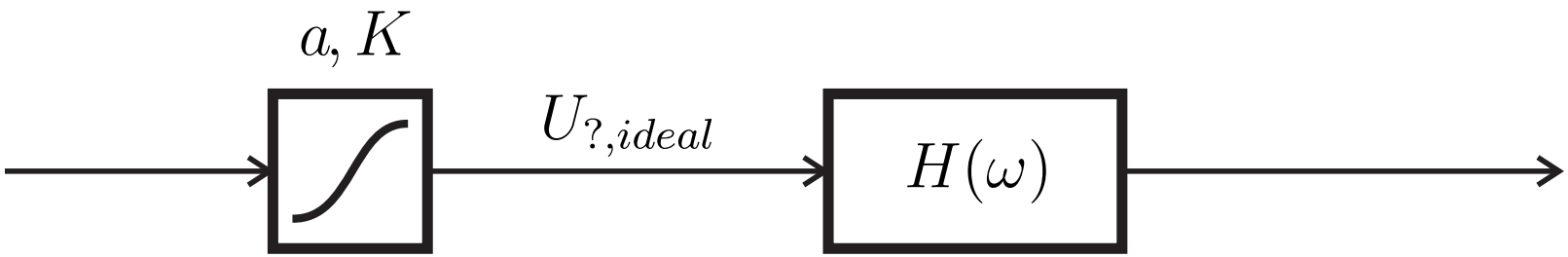

```
Uout_ideal = generate_BBsignal ( fq_rep, fq_bb, vpp )
H = determine_H ( )
Uquest_ideal = compute_Uquest ( Uout_ideal, H )
Uin = Uquest_ideal
Uout_measured = measure_Uout ( Uin )
Uquest_measured = compute_Uquest ( Uout_measured, H )
a = compute_a ( Uin, Uquest_measured, N )
K = compute_K ( a )
```

Code: Die Bausteine



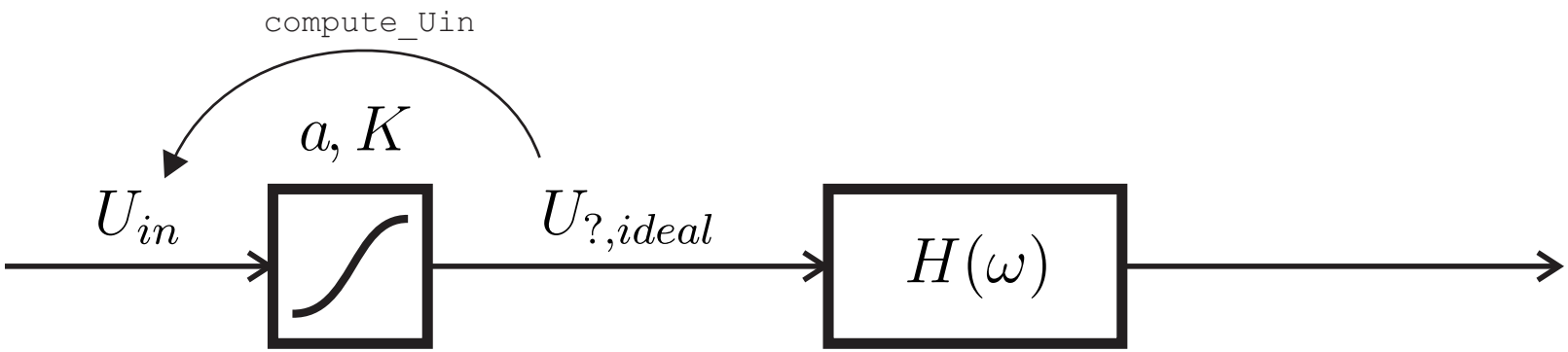

```
Uout_ideal = generate_BBsignal ( fq_rep, fq_bb, vpp )
H = determine_H ( )
Uquest_ideal = compute_Uquest ( Uout_ideal, H )
Uin = Uquest_ideal
Uout_measured = measure_Uout ( Uin )
Uquest_measured = compute_Uquest ( Uout_measured, H )
a = compute_a ( Uin, Uquest_measured, N )
K = compute_K ( a )
```

Code: Die Bausteine



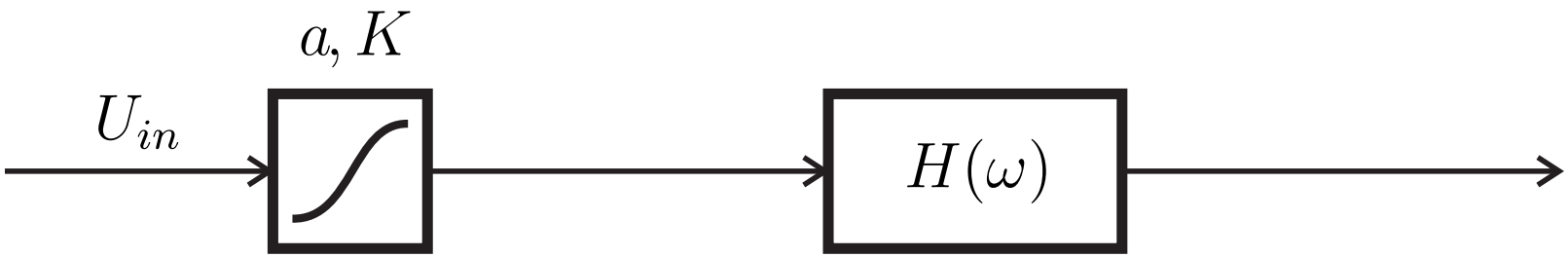

```
Uout_ideal = generate_BBsignal ( fq_rep, fq_bb, vpp )
H = determine_H ( )
Uquest_ideal = compute_Uquest ( Uout_ideal, H )
Uin = Uquest_ideal
Uout_measured = measure_Uout ( Uin )
Uquest_measured = compute_Uquest ( Uout_measured, H )
a = compute_a ( Uin, Uquest_measured, N )
K = compute_K ( a )
```

Code: Die Bausteine



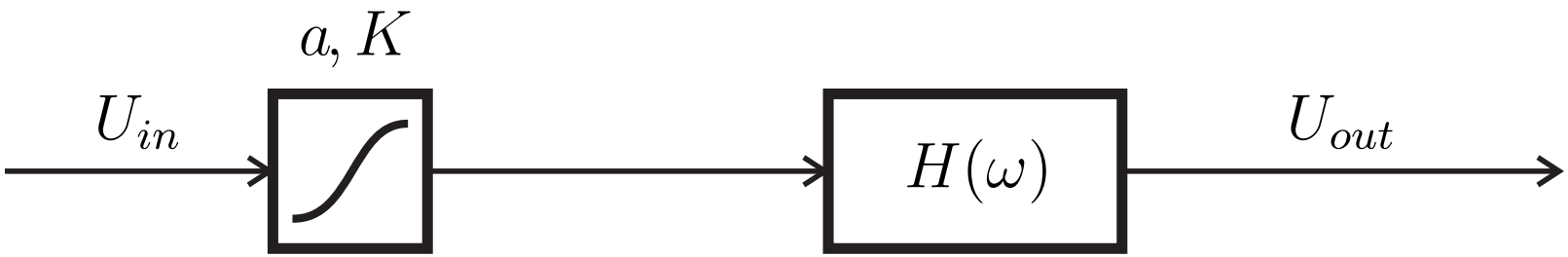

```
Uout_ideal = generate_BBsignal ( fq_rep, fq_bb, vpp )
H = determine_H ( )
Uquest_ideal = compute_Uquest ( Uout_ideal, H )
Uin = Uquest_ideal
Uout_measured = measure_Uout ( Uin )
Uquest_measured = compute_Uquest ( Uout_measured, H )
a = compute_a ( Uin, Uquest_measured, N )
K = compute_K ( a )
Uin = compute_Uin ( Uquest_ideal, K )
```

Code: Die Bausteine




```
Uout_ideal = generate_BBsignal ( fq_rep, fq_bb, vpp )
H = determine_H ( )
Uquest_ideal = compute_Uquest ( Uout_ideal, H )
Uin = Uquest_ideal
Uout_measured = measure_Uout ( Uin )
Uquest_measured = compute_Uquest ( Uout_measured, H )
a = compute_a ( Uin, Uquest_measured, N )
K = compute_K ( a )
Uin = compute_Uin ( Uquest_ideal, K )
```

Code: Die Bausteine




```
1  Uout_ideal = generate_BBsignal ( fq_rep, fq_bb, vpp )
2  H = determine_H ( )
3  Uquest_ideal = compute_Uquest ( Uout_ideal, H )
4  Uin = Uquest_ideal
5  Uout_measured = measure_Uout ( Uin )
6  Uquest_measured = compute_Uquest ( Uout_measured, H )
7  a = compute_a ( Uin, Uquest_measured, N )
8  K = compute_K ( a )
9  Uin = compute_Uin ( Uquest_ideal, K )
10 Uout = measure_Uout ( Uin )
```

Code: Vorgehensweise

Code: Vorgehensweise

- Refactoring / Anpassung der Matlab-Funktionen an unser Design

Code: Vorgehensweise

- Refactoring / Anpassung der Matlab-Funktionen an unser Design
- Portierung der Matlab-Funktionen nach Python

Code: Vorgehensweise

- Refactoring / Anpassung der Matlab-Funktionen an unser Design
- Portierung der Matlab-Funktionen nach Python
- Überprüfung der portierten Funktionen mithilfe von **TDD**

Code: Vorgehensweise

- Refactoring / Anpassung der Matlab-Funktionen an unser Design
- Portierung der Matlab-Funktionen nach Python
- Überprüfung der portierten Funktionen mithilfe von **TDD**
- Erweiterung der Blöcken mit `adjust_H` und `adjust_a`

Test Driven Development

Test Driven Development

- 27 Unit Tests

Test Driven Development

- 27 Unit Tests
- 4 System Tests

Test Driven Development

- 27 Unit Tests
- 4 System Tests

Vorteile:

Test Driven Development

- 27 Unit Tests
- 4 System Tests

Vorteile:

- Ermöglichen:
  - inkrementierende Code-Anpassungen

Test Driven Development

- 27 Unit Tests
- 4 System Tests

Vorteile:

- Ermöglichen:
  - inkrementierende Code-Anpassungen
  - verteiltes Debuggen ohne den Messaufbau

Test Driven Development

- 27 Unit Tests
- 4 System Tests

Vorteile:

- Ermöglichen:
  - inkrementierende Code-Anpassungen
  - verteiltes Debuggen ohne den Messaufbau
- Zwingen zum modularen Code-Design

Test Driven Development

- 27 Unit Tests
- 4 System Tests

Vorteile:

- Ermöglichen:
  - inkrementierende Code-Anpassungen
  - verteiltes Debuggen ohne den Messaufbau
- Zwingen zum modularen Code-Design
- Erleichtern das Migrieren der Funktionen aus anderen Sprachen

Test Driven Development

- 27 Unit Tests
- 4 System Tests

Vorteile:

- Ermöglichen:
  - inkrementierende Code-Anpassungen
  - verteiltes Debuggen ohne den Messaufbau
- Zwingen zum modularen Code-Design
- Erleichtern das Migrieren der Funktionen aus anderen Sprachen
- Dienen auch als Dokumentation der Bausteine

Test Driven Development

- 27 Unit Tests
- 4 System Tests

Vorteile:

- Ermöglichen:
  - inkrementierende Code-Anpassungen
  - verteiltes Debuggen ohne den Messaufbau
- Zwingen zum modularen Code-Design
- Erleichtern das Migrieren der Funktionen aus anderen Sprachen
- Dienen auch als Dokumentation der Bausteine

Nachteile:

Test Driven Development

- 27 Unit Tests
- 4 System Tests

Vorteile:

- Ermöglichen:
  - inkrementierende Code-Anpassungen
  - verteiltes Debuggen ohne den Messaufbau
- Zwingen zum modularen Code-Design
- Erleichtern das Migrieren der Funktionen aus anderen Sprachen
- Dienen auch als Dokumentation der Bausteine

Nachteile:

- Extra Aufwand: mehr Code zu debuggen

Das Mock-System

Das Mock-System

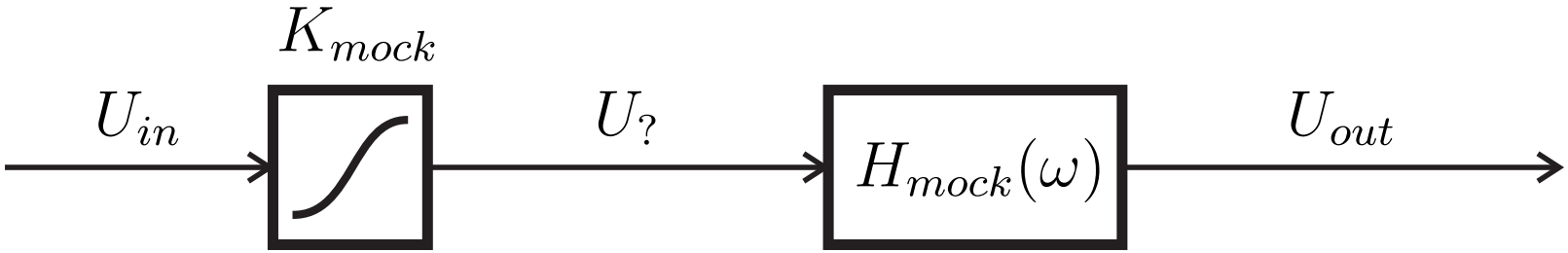
- Wird genutzt, wenn mit Geräten kommuniziert wird:
  - `mock_system.write_to_AWG`
  - `mock_system.read_from_DSO`

Das Mock-System

- Wird genutzt, wenn mit Geräten kommuniziert wird:
  - `mock_system.write_to_AWG`
  - `mock_system.read_from_DSO`
- Simuliert das Verhalten des Messaufbaus nach dem Hammerstein Model

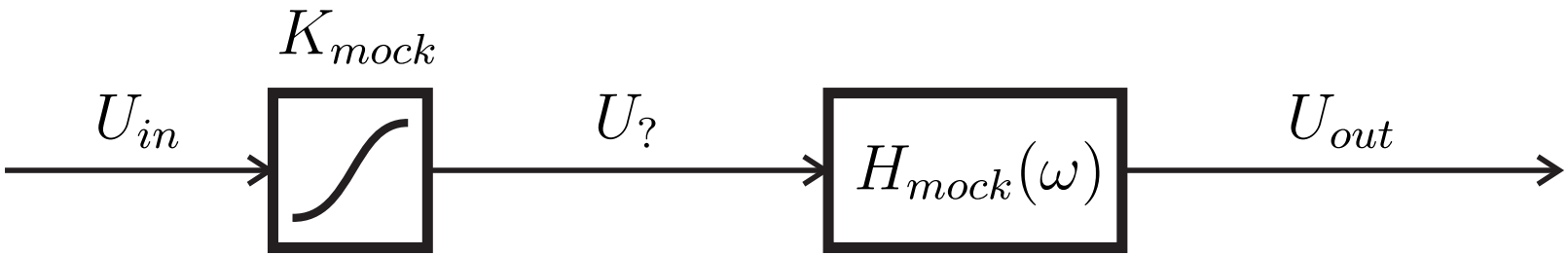
Das Mock-System

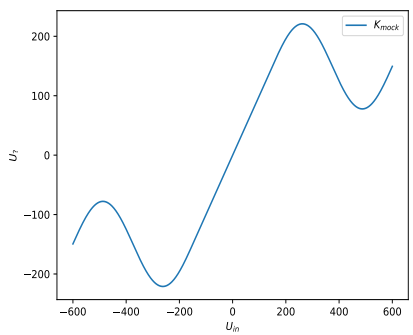
- Wird genutzt, wenn mit Geräten kommuniziert wird:
  - `mock_system.write_to_AWG`
  - `mock_system.read_from_DSO`
- Simuliert das Verhalten des Messaufbaus nach dem Hammerstein Model



Das Mock-System

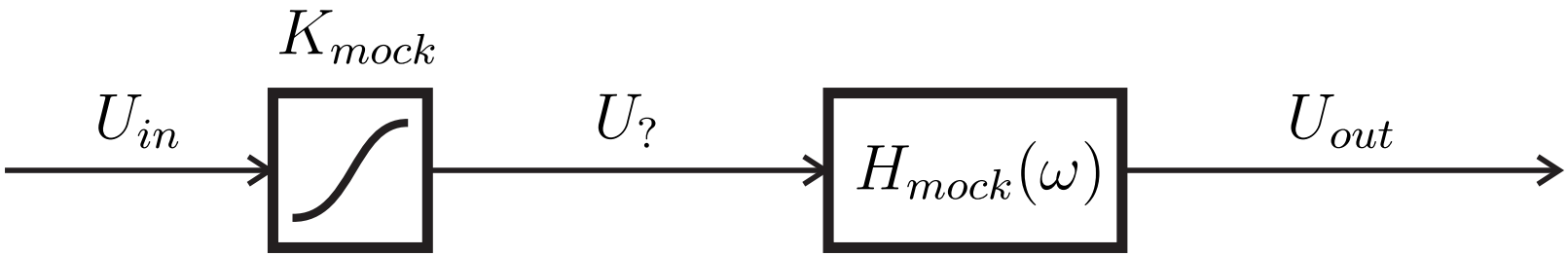
- Wird genutzt, wenn mit Geräten kommuniziert wird:
  - `mock_system.write_to_AWG`
  - `mock_system.read_from_DSO`
- Simuliert das Verhalten des Messaufbaus nach dem Hammerstein Model

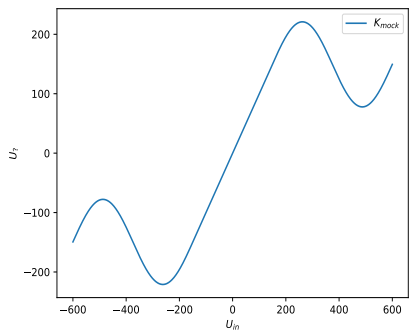


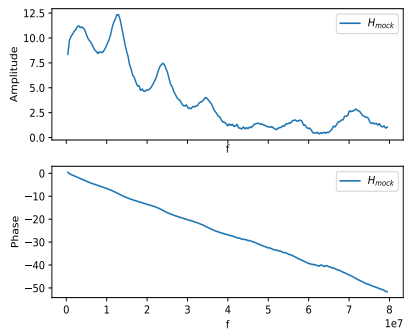


Das Mock-System

- Wird genutzt, wenn mit Geräten kommuniziert wird:
  - `mock_system.write_to_AWG`
  - `mock_system.read_from_DSO`
- Simuliert das Verhalten des Messaufbaus nach dem Hammerstein Model







Das Mock-System

- Wird genutzt, wenn mit Geräten kommuniziert wird:
  - `mock_system.write_to_AWG`
  - `mock_system.read_from_DSO`
- Simuliert das Verhalten des Messaufbaus nach dem Hammerstein Model

Vorteile:

Das Mock-System

- Wird genutzt, wenn mit Geräten kommuniziert wird:
  - `mock_system.write_to_AWG`
  - `mock_system.read_from_DSO`
- Simuliert das Verhalten des Messaufbaus nach dem Hammerstein Model

Vorteile:

- Ermöglicht:
  - Unit Tests von Bausteinen, in den Gerätekommunikation stattfindet

Das Mock-System

- Wird genutzt, wenn mit Geräten kommuniziert wird:
  - `mock_system.write_to_AWG`
  - `mock_system.read_from_DSO`
- Simuliert das Verhalten des Messaufbaus nach dem Hammerstein Model

Vorteile:

- Ermöglicht:
  - Unit Tests von Bausteinen, in den Gerätekommunikation stattfindet
  - System Tests

Das Mock-System

- Wird genutzt, wenn mit Geräten kommuniziert wird:
  - `mock_system.write_to_AWG`
  - `mock_system.read_from_DSO`
- Simuliert das Verhalten des Messaufbaus nach dem Hammerstein Model

Vorteile:

- Ermöglicht:
  - Unit Tests von Bausteinen, in den Gerätekommunikation stattfindet
  - System Tests
  - Testen von Randfällen

Das Mock-System

- Wird genutzt, wenn mit Geräten kommuniziert wird:
  - `mock_system.write_to_AWG`
  - `mock_system.read_from_DSO`
- Simuliert das Verhalten des Messaufbaus nach dem Hammerstein Model

Vorteile:

- Ermöglicht:
  - Unit Tests von Bausteinen, in den Gerätekommunikation stattfindet
  - System Tests
  - Testen von Randfällen
- Hilft das System besser zu verstehen

Das Mock-System

- Wird genutzt, wenn mit Geräten kommuniziert wird:
  - `mock_system.write_to_AWG`
  - `mock_system.read_from_DSO`
- Simuliert das Verhalten des Messaufbaus nach dem Hammerstein Model

Vorteile:

- Ermöglicht:
  - Unit Tests von Bausteinen, in den Gerätekommunikation stattfindet
  - System Tests
  - Testen von Randfällen
- Hilft das System besser zu verstehen

Nachteile:

- Extra Aufwand: mehr Code zu debuggen

Optimierung von K

- Eine Kennlinie an das momentane Signal anpassen

$$U_{?,\mathrm{meas}}(t) = \sum_{n=1}^{N} \overline{a}_n \left[U_{in}(t)\right]^n \qquad U_{?,\mathrm{ideal}}(t) = \sum_{n=1}^{N} a_n \left[U_{in}(t)\right]^n \tag{1}$$

- Oder direkt über die Differenz der Signale

$$\Delta U_?(t) = U_{?,\mathrm{meas}}(t) - U_{?,\mathrm{ideal}}(t) = \sum_{n=1}^{N} \left(\overline{a}_n - a_n\right) \left[U_{in}(t)\right]^n = \sum_{n=1}^{N} \tilde{a}_n \left[U_{in}(t)\right]^n \tag{2}$$

Optimierung von K

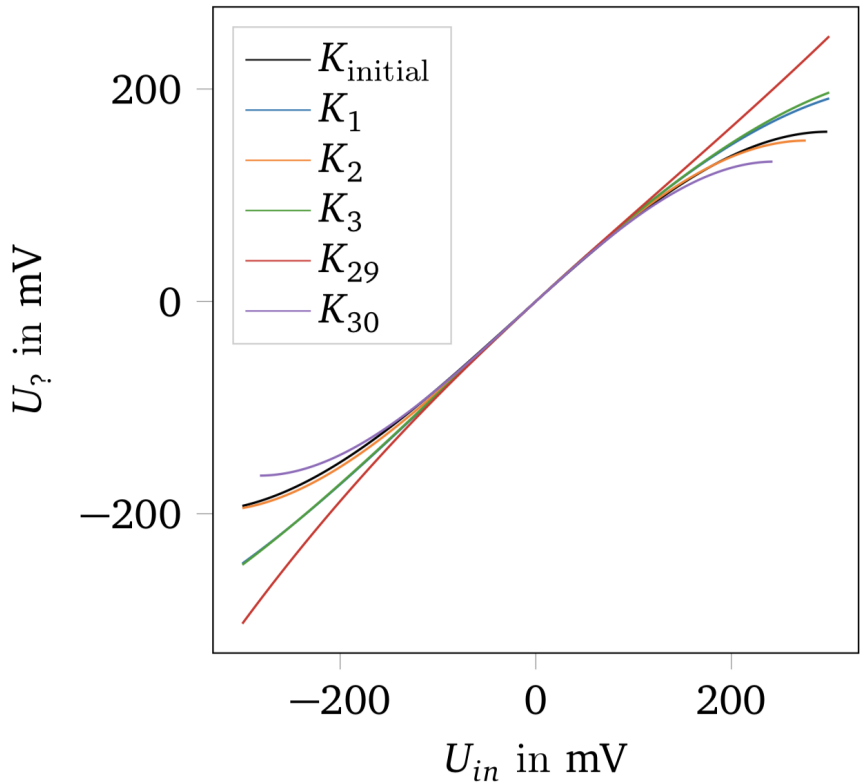
- Bestimmung der Parameter $\tilde{a}_n$
- Vergleichen der Samples $\Delta U_{?,i} = \Delta U_?(i \cdot \Delta t)$ mit $U_{in,i} = U_{in}(i \cdot \Delta t)$

$$\begin{pmatrix} U_{in,1} & U_{in,1}^2 & \dots & U_{in,1}^N \\ U_{in,2} & U_{in,2}^2 & \dots & U_{in,2}^N \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ U_{,M} & U_{in,M}^2 & \dots & U_{in,M}^N \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \tilde{a}_1 \\ \tilde{a}_2 \\ \vdots \\ \tilde{a}_N \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta U_{?,1} \\ \Delta U_{?,2} \\ \vdots \\ \Delta U_{?,M} \end{pmatrix} \tag{3}$$

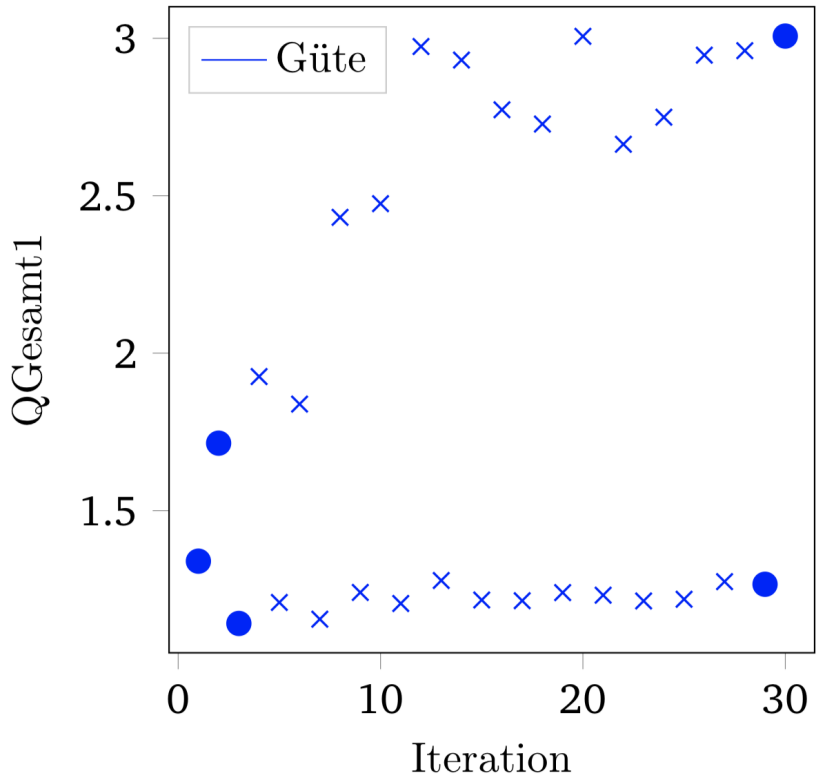
- Lösung des linearen Optimierungsproblems ergibt die Anpassung der alten Parameter

$$a_n^{i+1} = a_n^i + \sigma_a^i \tilde{a}_n^i \tag{4}$$

Erster Ansatz

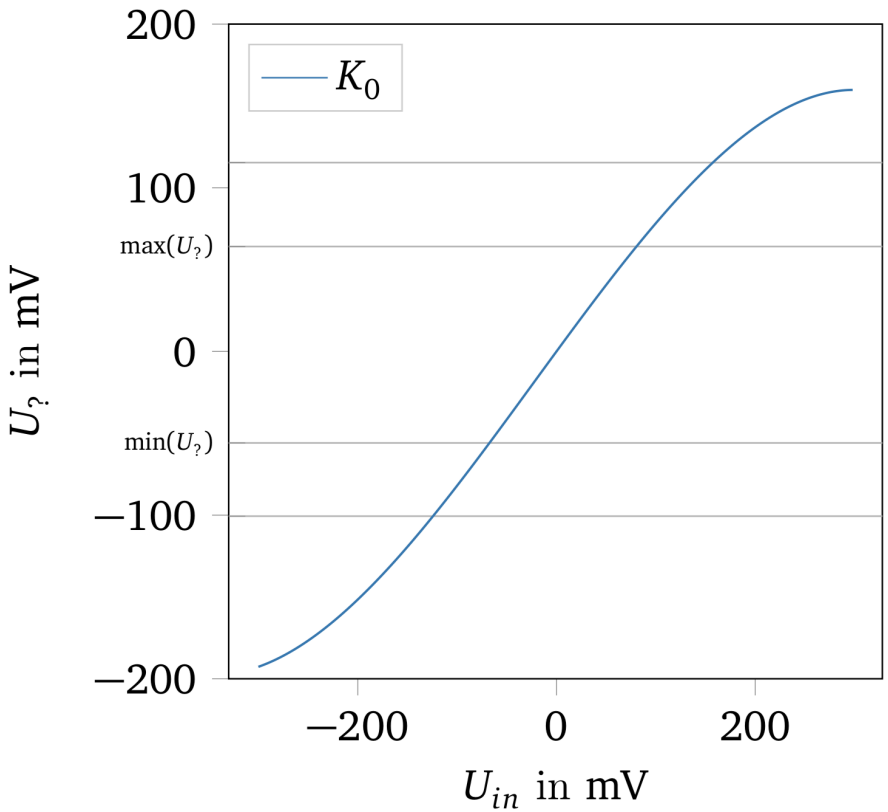


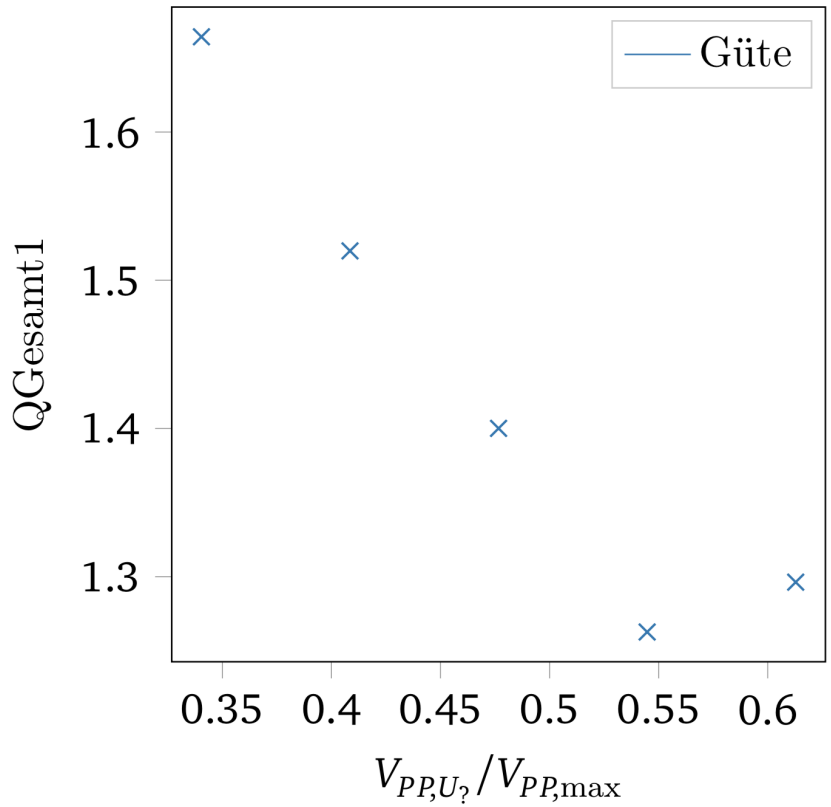
(a) Kennlinien



(b) Qualität

Grenzen der Kennlinie

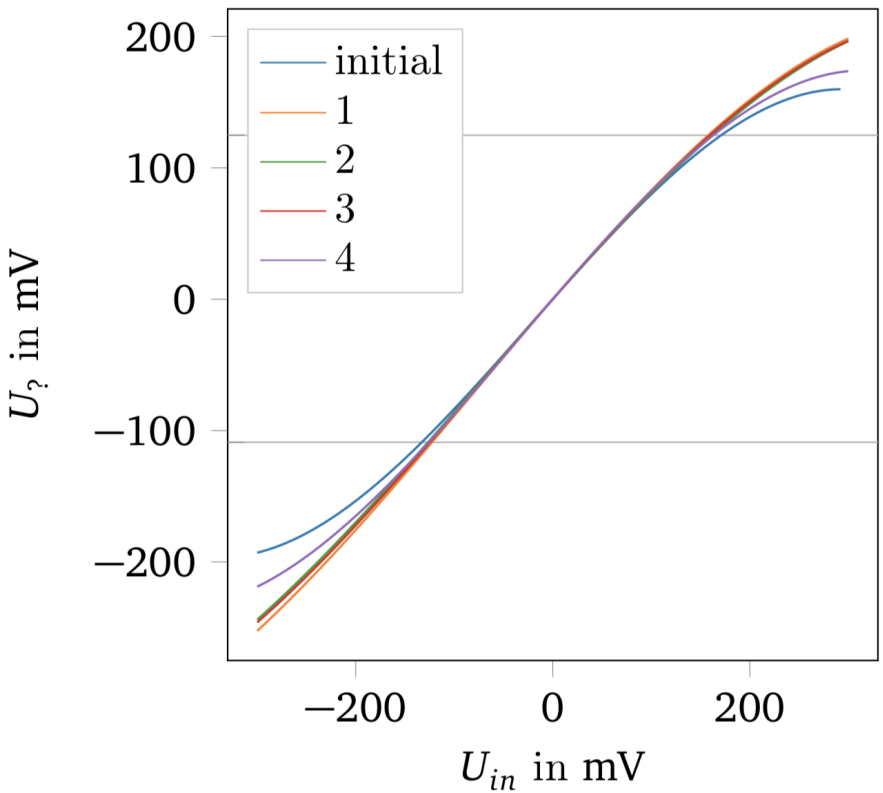


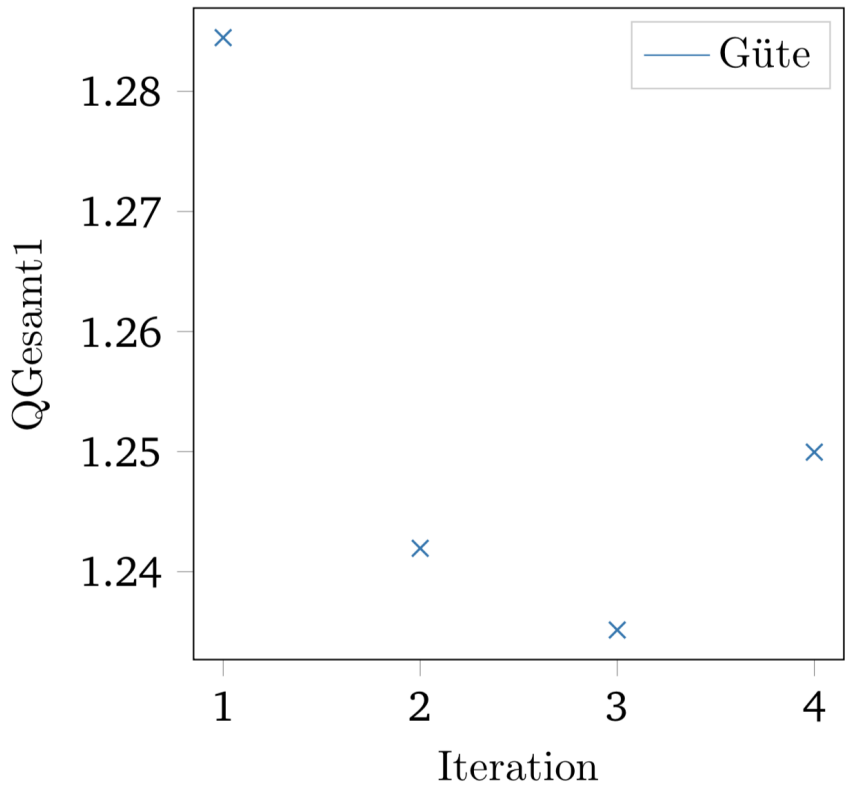


Zweiter Ansatz

- K in einem kleineren Spannungsbereich anpassen
- Es wurden 66% des maximal zulässigen Bereichs verwendet

Zweiter Ansatz





Offene Punkte

- Zweiter Ansatz mit mehr Iterationen Testen
- Die Grenzen für K allgemein bestimmen

Ausblick

Empfehlungen zum Code-Design

- Weiter Klasse `K_class` implementieren

Empfehlungen zum Code-Design

- Weiter Klasse `K_class` implementieren
- Refactoring

Überlegungen

Überlegungen

- Reihenfolge der Optimierung: Parallele Iteration $\Leftrightarrow$ alternierende Iteration von H und K

Überlegungen

- Reihenfolge der Optimierung: Parallele Iteration $\Leftrightarrow$ alternierende Iteration von H und K
- Einfluss von K auf das Spektrum von $U_?$ und damit auf Optimierung von H durch Oberschwingungen bei Potenzierung des Eingangssignals

Überlegungen

- Reihenfolge der Optimierung: Parallele Iteration $\Leftrightarrow$ alternierende Iteration von H und K
- Einfluss von K auf das Spektrum von $U_?$ und damit auf Optimierung von H durch Oberschwingungen bei Potenzierung des Eingangssignals
- Auswahl der Schrittweiten in den Optimierungsalgorithmen

Überlegungen

- Reihenfolge der Optimierung: Parallele Iteration $\Leftrightarrow$ alternierende Iteration von H und K
- Einfluss von K auf das Spektrum von $U_?$ und damit auf Optimierung von H durch Oberschwingungen bei Potenzierung des Eingangssignals
- Auswahl der Schrittweiten in den Optimierungsalgorithmen
- Umgang mit Nulldurchgängen des idealen Spektrums in Optimierung von H

Überlegungen

- Reihenfolge der Optimierung: Parallele Iteration $\Leftrightarrow$ alternierende Iteration von H und K
- Einfluss von K auf das Spektrum von $U_?$ und damit auf Optimierung von H durch Oberschwingungen bei Potenzierung des Eingangssignals
- Auswahl der Schrittweiten in den Optimierungsalgorithmen
- Umgang mit Nulldurchgängen des idealen Spektrums in Optimierung von H
- Einfluss von Rauschen auf Optimierungsalgorithmen

Überlegungen

- Reihenfolge der Optimierung: Parallele Iteration $\Leftrightarrow$ alternierende Iteration von H und K
- Einfluss von K auf das Spektrum von $U_?$ und damit auf Optimierung von H durch Oberschwingungen bei Potenzierung des Eingangssignals
- Auswahl der Schrittweiten in den Optimierungsalgorithmen
- Umgang mit Nulldurchgängen des idealen Spektrums in Optimierung von H
- Einfluss von Rauschen auf Optimierungsalgorithmen
- Anpassung der Phase in Optimierung von H

Überlegungen

- Reihenfolge der Optimierung: Parallele Iteration $\Leftrightarrow$ alternierende Iteration von H und K
- Einfluss von K auf das Spektrum von $U_?$ und damit auf Optimierung von H durch Oberschwingungen bei Potenzierung des Eingangssignals
- Auswahl der Schrittweiten in den Optimierungsalgorithmen
- Umgang mit Nulldurchgängen des idealen Spektrums in Optimierung von H
- Einfluss von Rauschen auf Optimierungsalgorithmen
- Anpassung der Phase in Optimierung von H
- Definitionsbereich von K bei initialer Berechnung und Optimierung

Quellen

- Denys Bast, Armin Galetzka, "Projektseminar Beschleunigertechnik", 2017
- Jens Harzheim *et al.*, "Input Signal Generation For Barrier Bucket RF Systems At GSI",
- Kerstin Gross *et al.*, "Test Setup For Automated Barrier Bucket Signal Generation", 2017