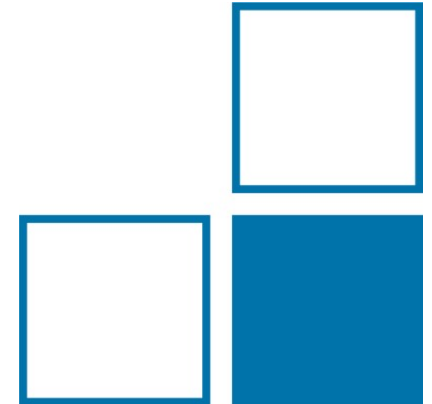


# First Uncertainty Budget for Vectorial PIM Measurements

319. PTB-Seminar,  
18.05.2022

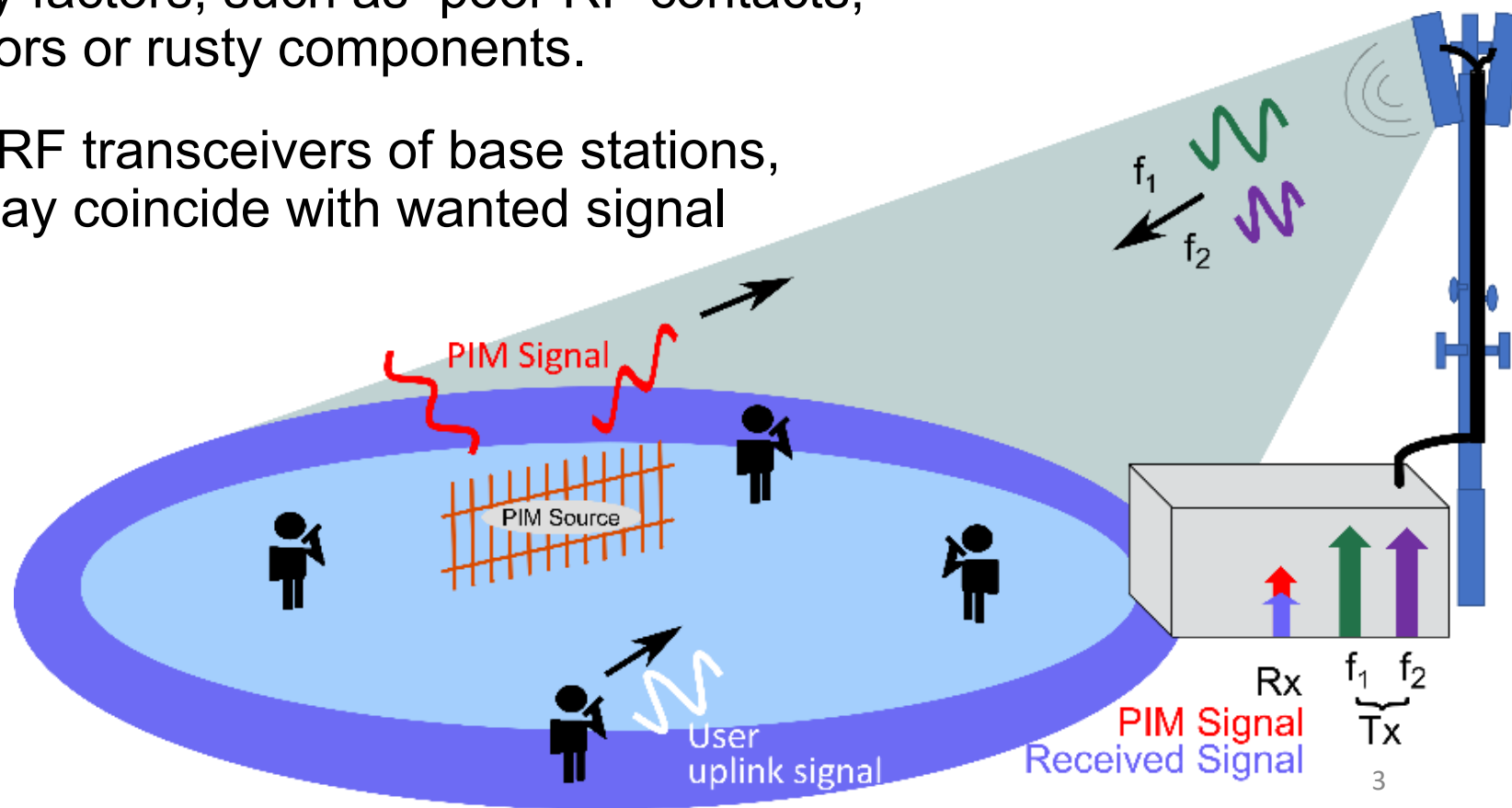
Ahmed Sayegh  
Working Group, 2.24



- What is Passive Intermodulation(PIM)
- How to measure PIM
- Vectorial PIM measurement system
- Without-thru calibration for frequency-converting measurements
- Calibration standards for Without-thru calibration
- First measurement results with uncertainty budget
- Summary

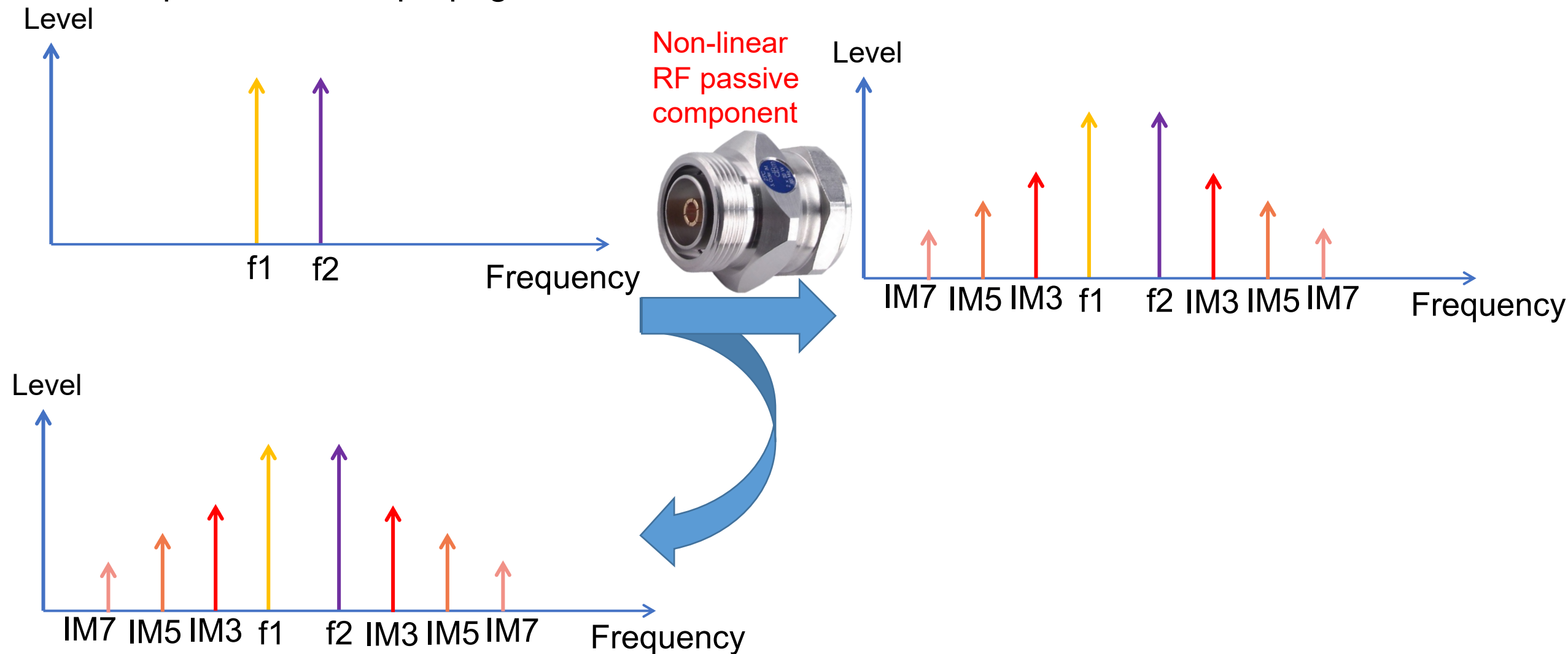
# What is PIM?

- PIM is generated by mixing two or more high power signals with different frequencies, when they pass through a nonlinear passive device.
- PIM can be caused by many factors, such as poor RF contacts, damaged/corroded connectors or rusty components.
- PIM can be problematic for RF transceivers of base stations, since some PIM products may coincide with wanted signal frequency.



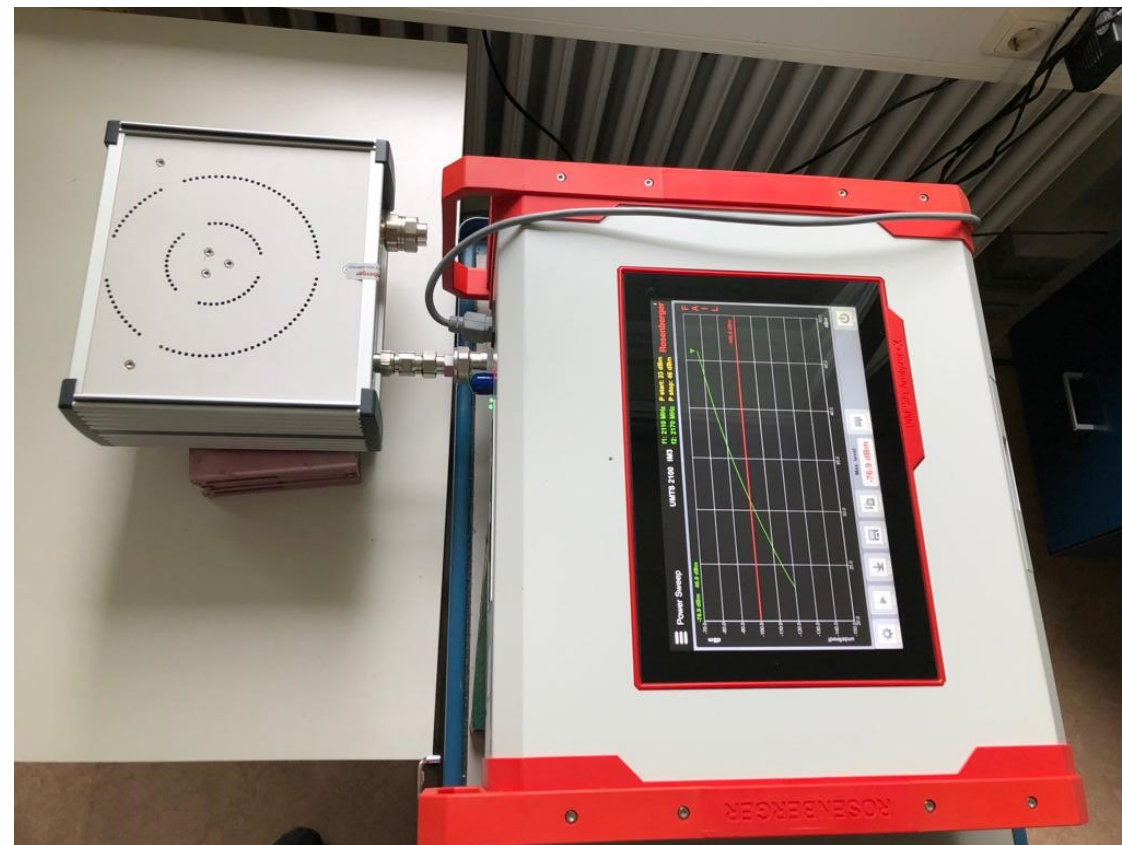
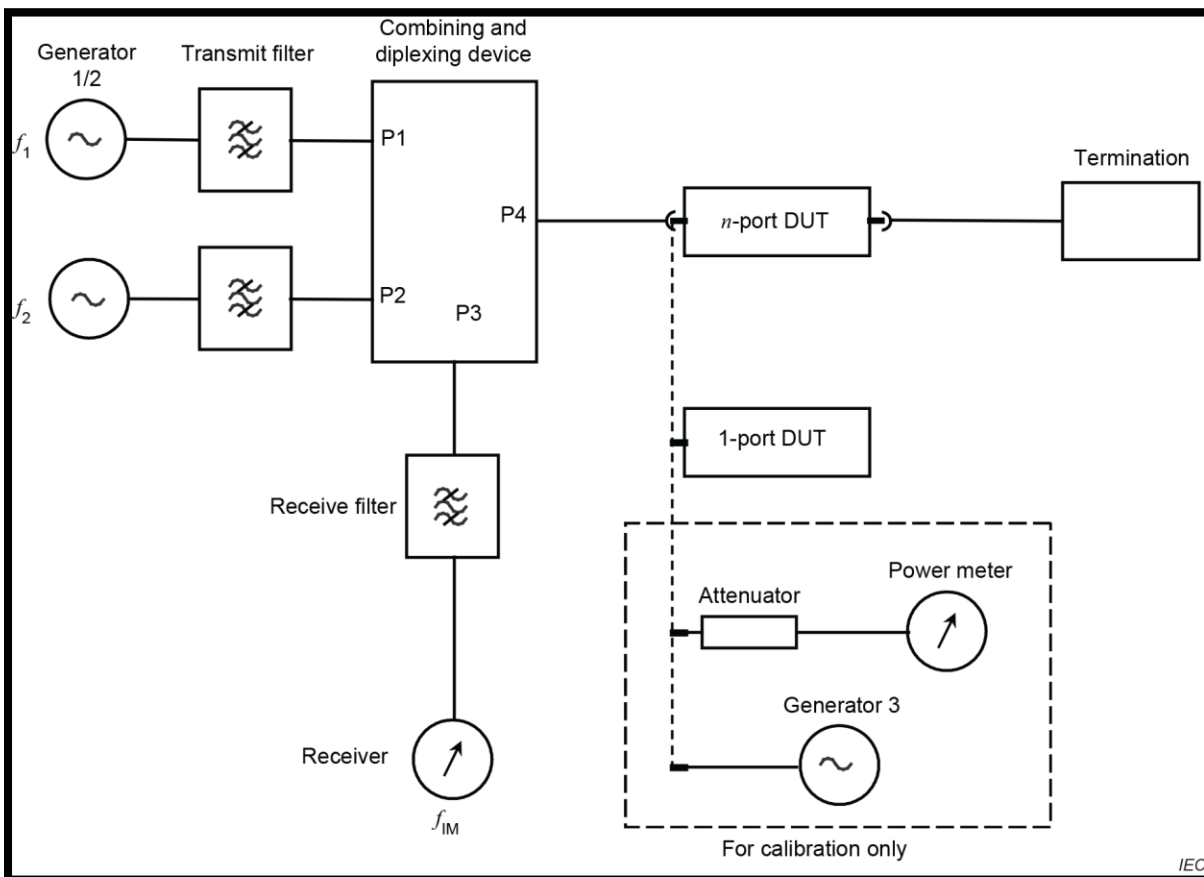
# How is PIM generated ?

- Passive devices, such as cables and connectors can be a potential source of PIM.  
The produced PIM propagates in both forward and reverse direction.



# Scalar PIM Measurement System

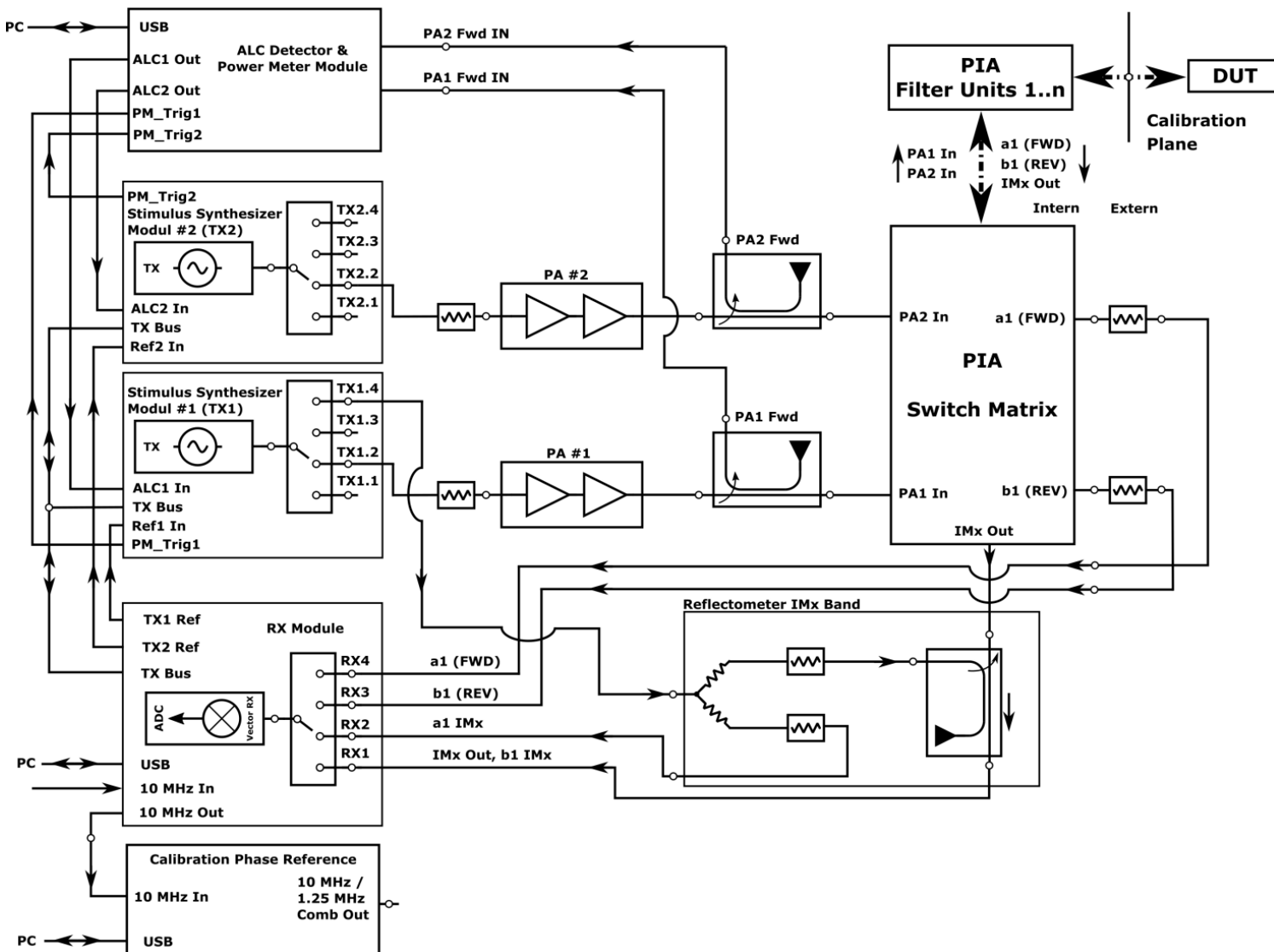
- Can not measure PIM phase
- Does not support phase sweeping of the two-tone signal
- Simplified calculation for measurement uncertainty



Source: IEC62037-1, reverse IM-test set-up

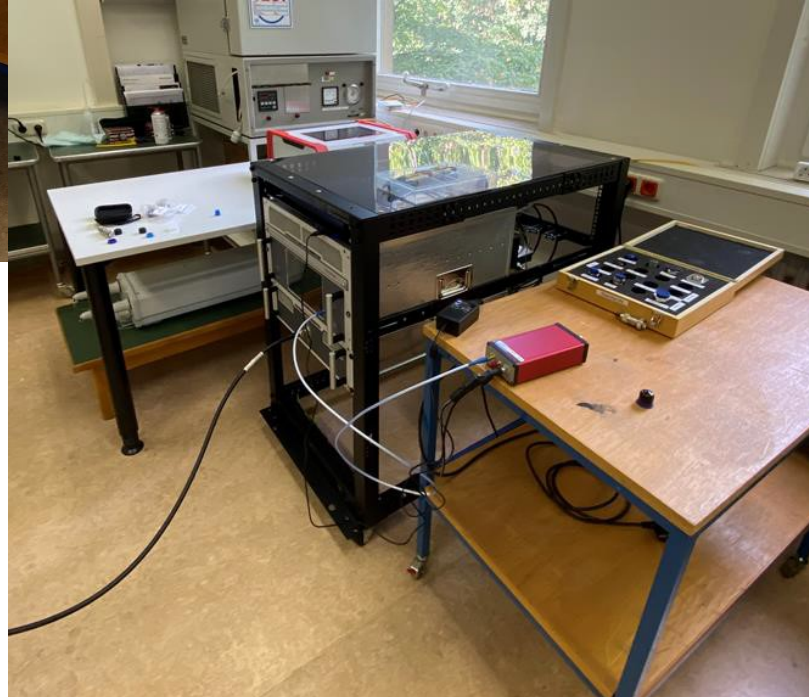
# Vectorial PIM measurement system

- Nonlinear-VNA extension to the scalar Rosenberger system
- One-port DUT connection for all measurements
- Temperature controlled ALC wide-band detector unit.
- Temperature controlled RX/TX modules to minimize drift.
- Comb generator used for :
  - Initial power-on phase offset compensation of RX and TX units
  - Without-Thru calibration

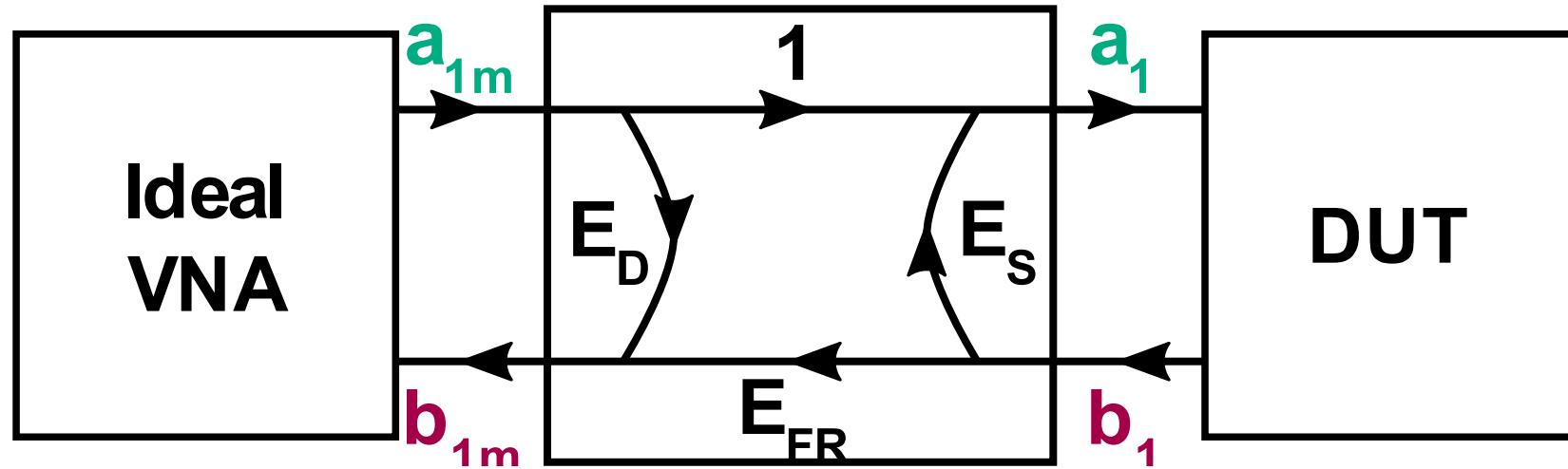




# Photos of Vectorial PIM System



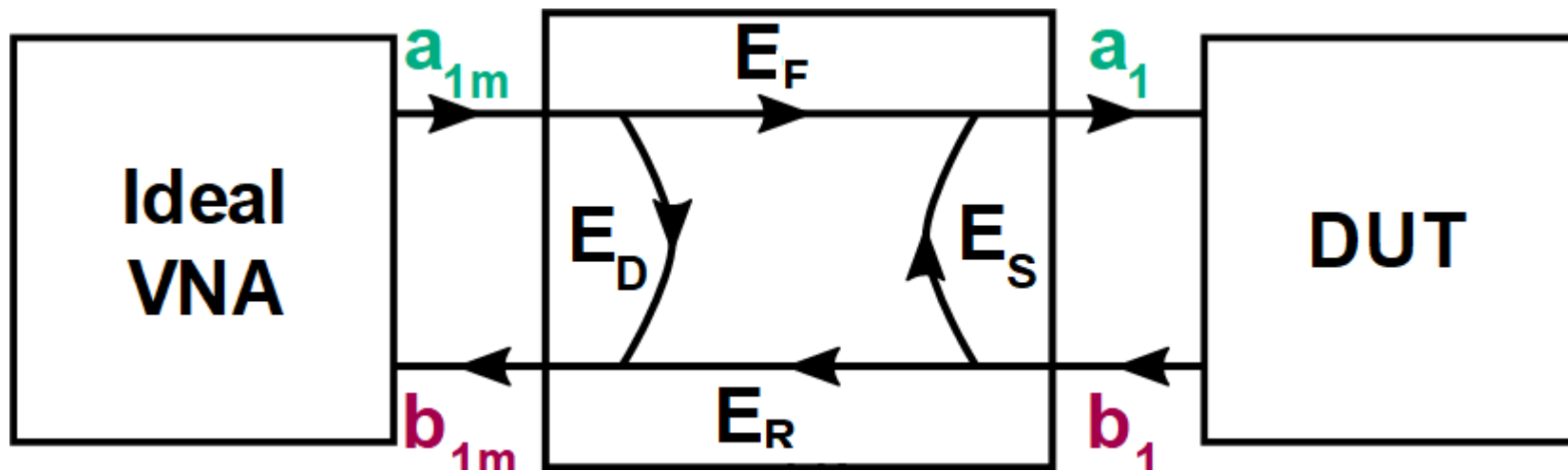
# One-port 3-Term Error Model



- Reflected PIM measurement, 1-Port error terms
- 1-Port calibration with 3 error terms
- Only one tracking term
- No absolute values for  $a_{1m}$  and  $b_{1m}$



# One-port 4-Term Error Model



- Four error terms instead of three
- Calibrated amplitude and phase
- Suitable for the measurement of non-linear devices
- Without-Thru calibration to get the fourth term
- One such error box for each hardware path

## Waves correction Model

Referring to eq. (9) in [1]

$$a_1 = (b_{1m} - b_{1m} E_S - \Delta E a_{1m}) / E_R$$

$$\Delta E = E_S E_D - E_{FR}$$

$$b_1 = (b_{1m} - a_{1m} E_D) / E_R$$

# Without-Thru calibration



$\Gamma_O, \Gamma_S, \Gamma_L$

SOL calibration:  $E_S, E_D, E_{FR} = E_F \cdot E_R$



$a_r, \Gamma_r$

$$\angle E_R = \angle \left[ \frac{1}{a_r} (b_{1m} - b_{1m} E_S \Gamma_r - E_D a_{1m} + \Delta E a_{1m} \Gamma_r) \right]$$

$P_m, \Gamma_P$

$$|E_R|^2 = |E_S b_{1m} - \Delta E \cdot a_{1m}|^2 \cdot \frac{1 - |\Gamma_P|^2}{P_m}, \quad \Delta E = E_S \cdot E_D - E_{FR}$$



# Calibration Standards

## ■ Uncertainties for the OSM standards:

- Open, Short and Match:

0.006 Magnitude 0.3 deg Phase

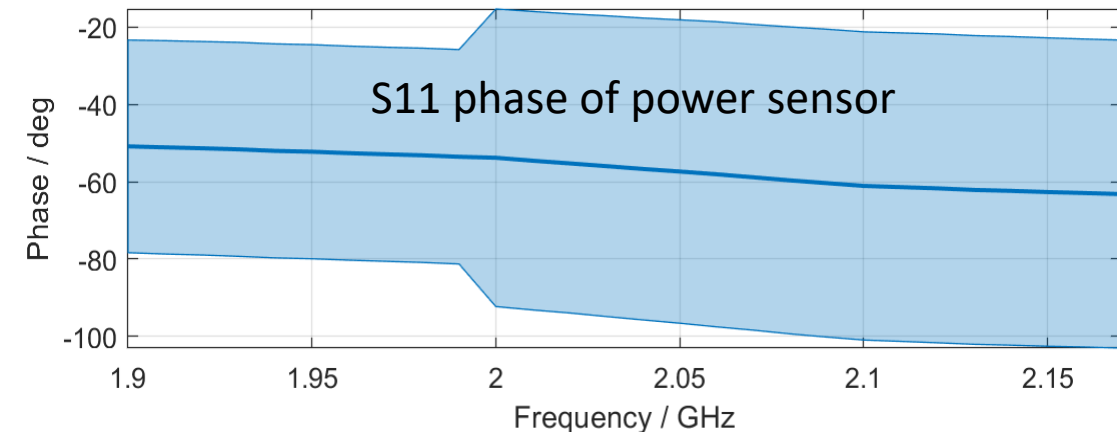
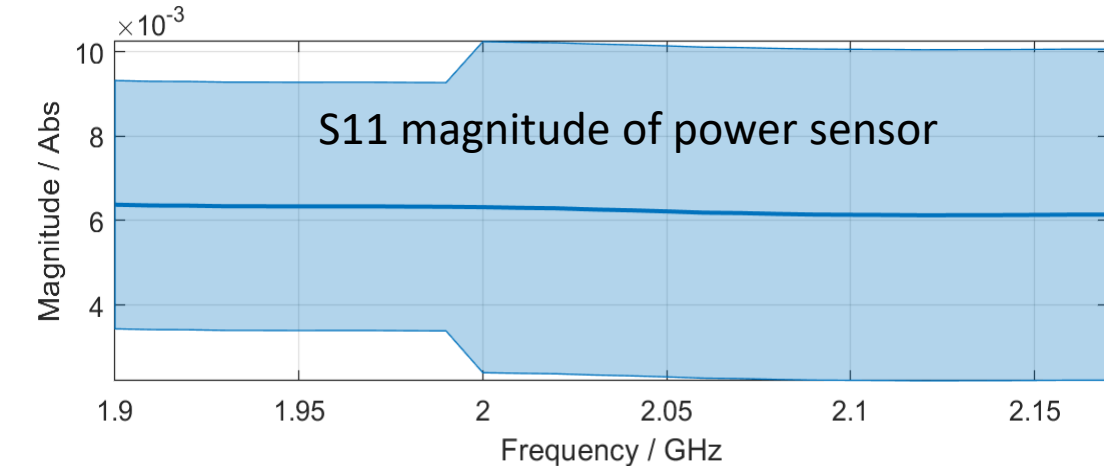
## ■ Uncertainty for the power sensor:

- Reflection coefficient is shown
- Uncertainty for Relative power

measurement: 0.01dB

## ■ Other uncertainty contributors are:

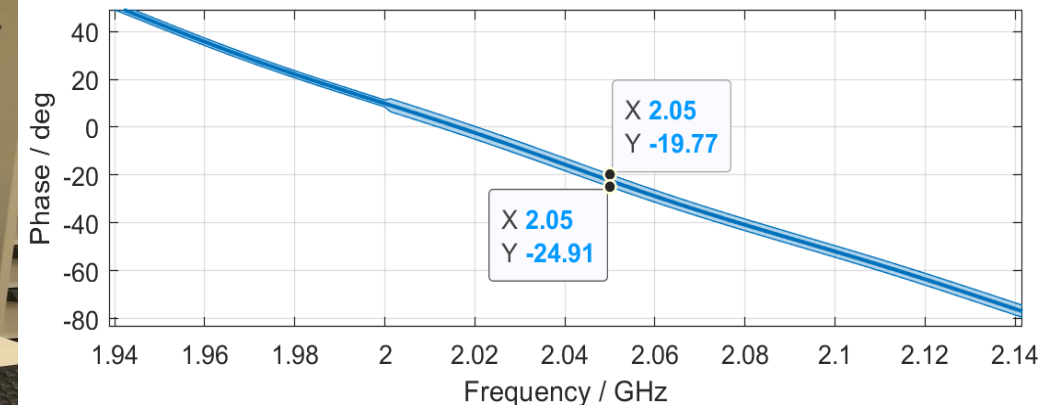
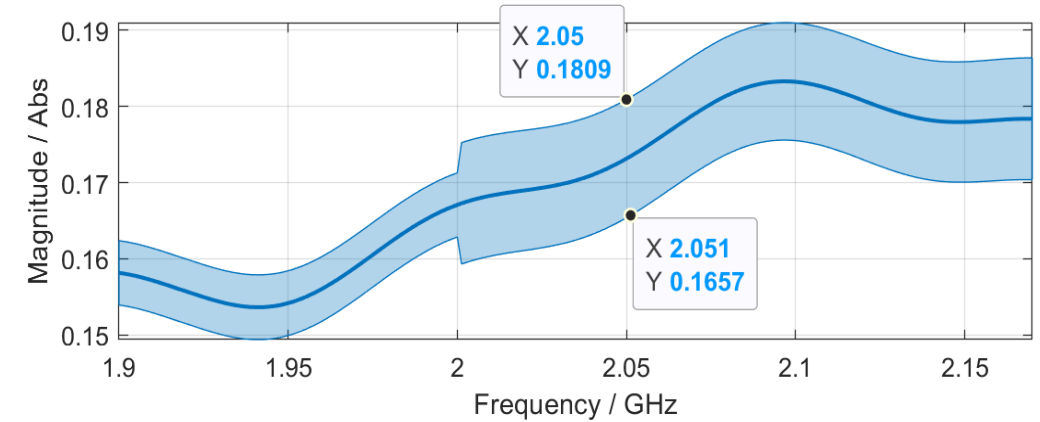
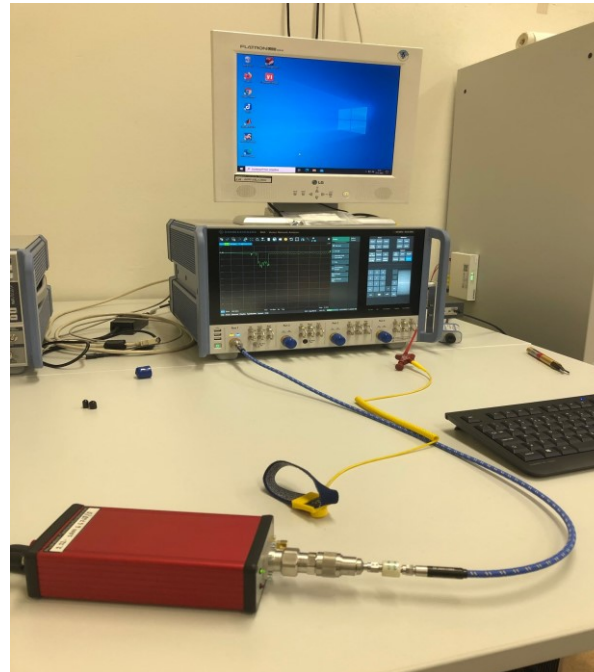
- Drift
- Self Intermodulation related uncertainty
- Connector repeatability



# Calibration Standards

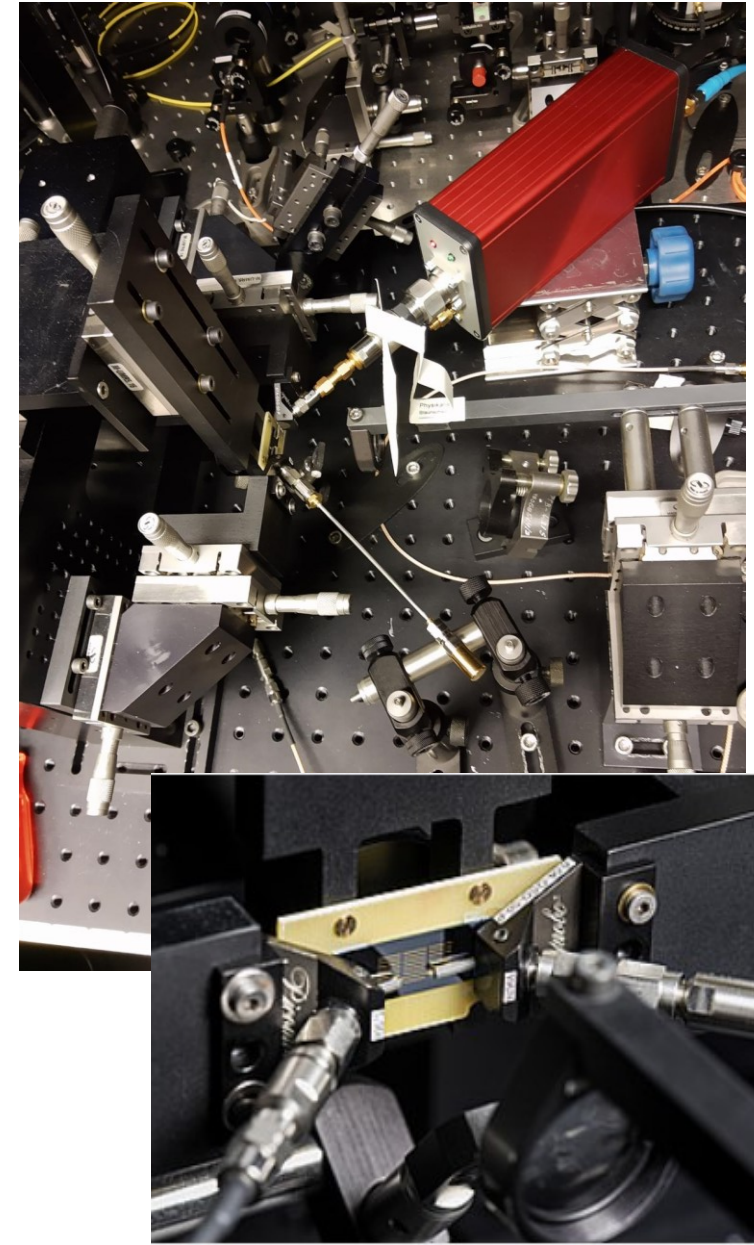
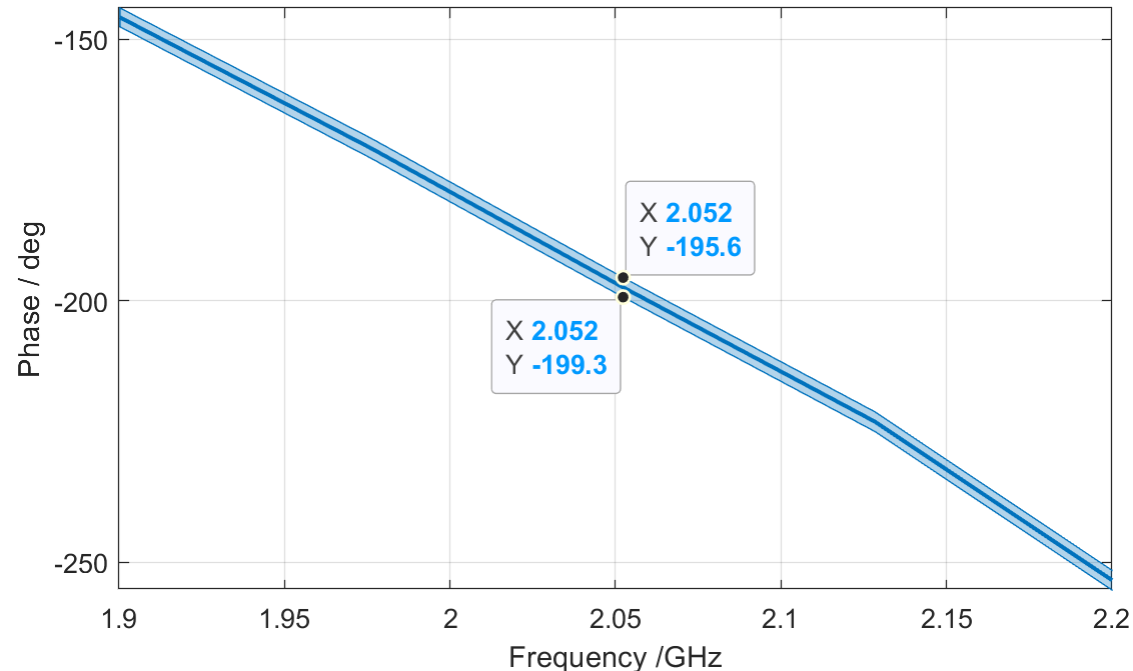
## ■ Uncertainty for the comb generator:

- Reflection coefficient is measured using Rohde & Schwarz ZNA
- N type calibration kit is used for ZNA calibration
- Effect of N to 4.3-10 adapter is yet to be removed



# Phase Reference Characterization

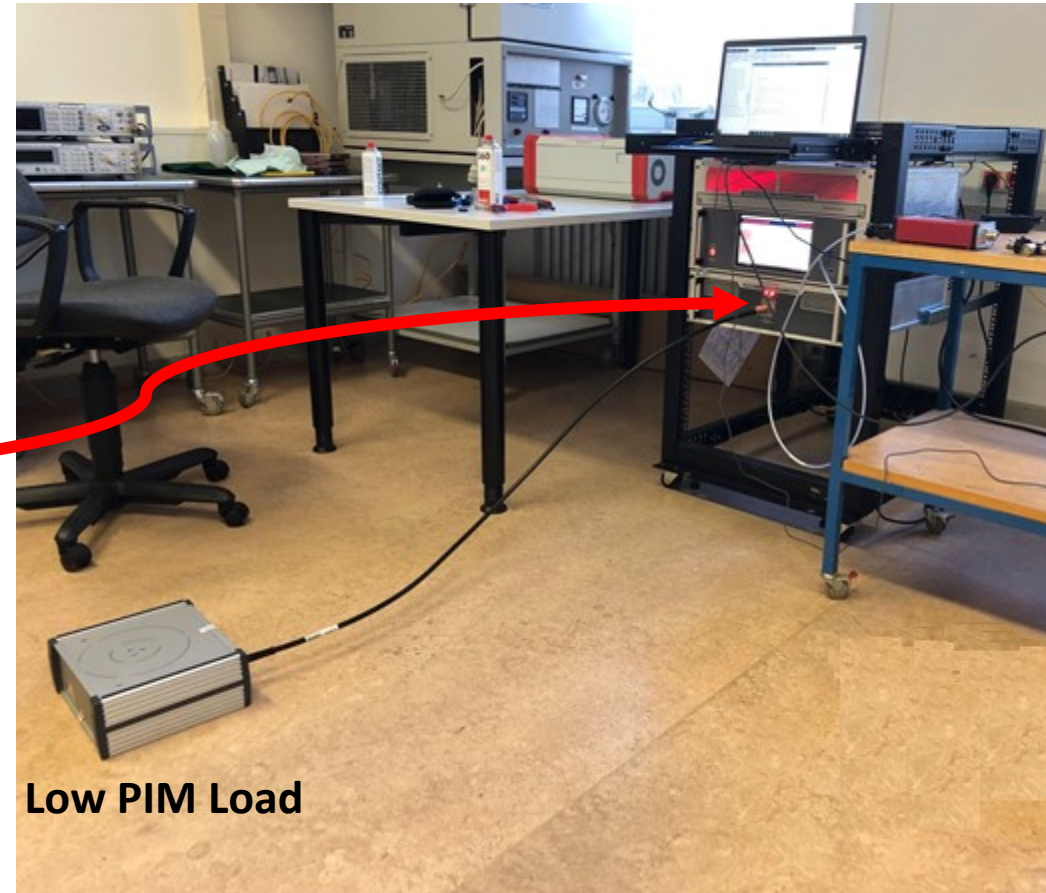
- Electro-Optic Sampling
- Working group *Femtosecond Measurement Techniques and Nanomagnetism*
- Traceable characterization of the pulse in time domain
- Fourier transform to get result in frequency domain
- Correction of the reference plane





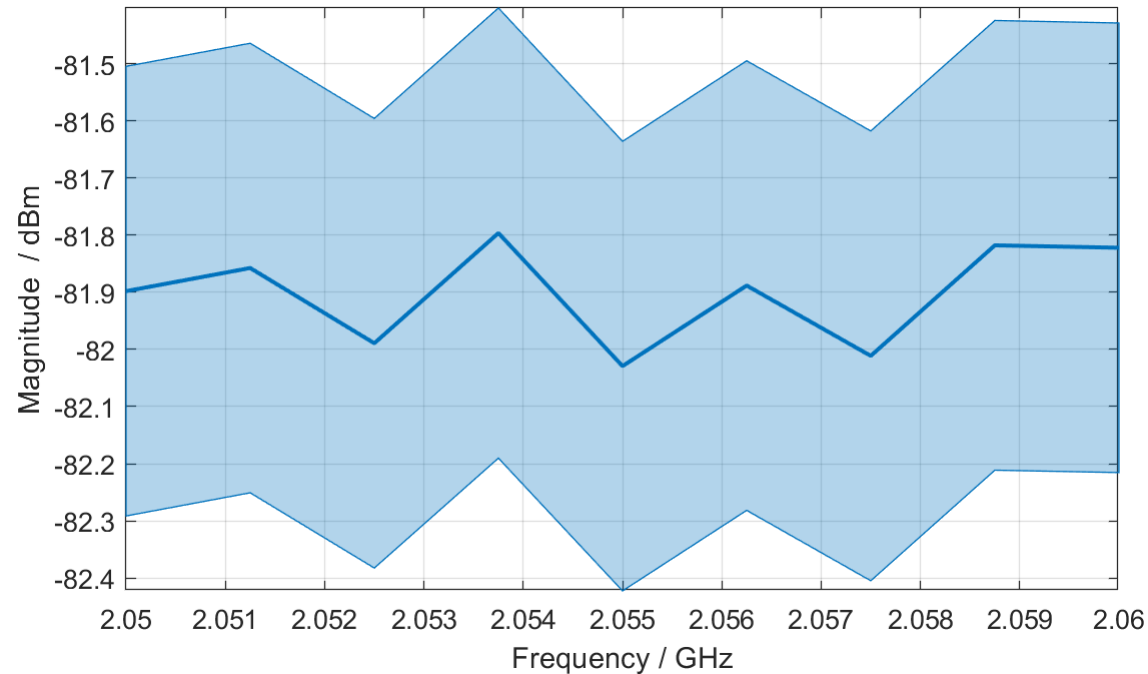
# Measured Device Under Test (DUT)

- -80dBm PIM standard
- 4.3-10 connector type

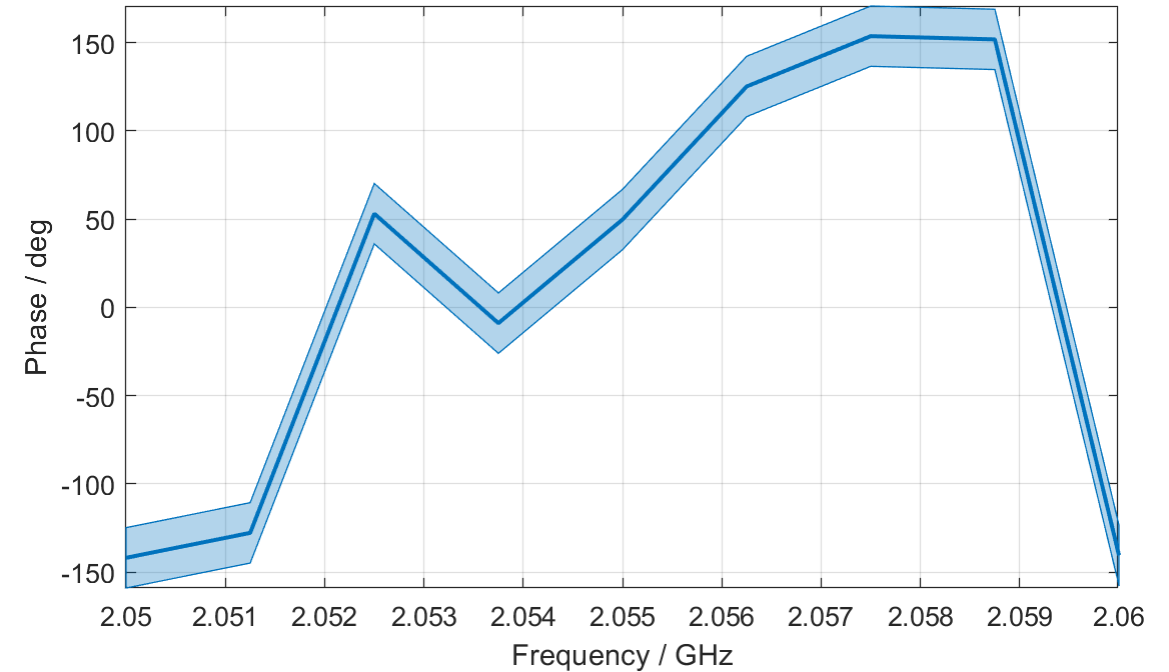


Low PIM Load

# Measured IM3 vs. frequency

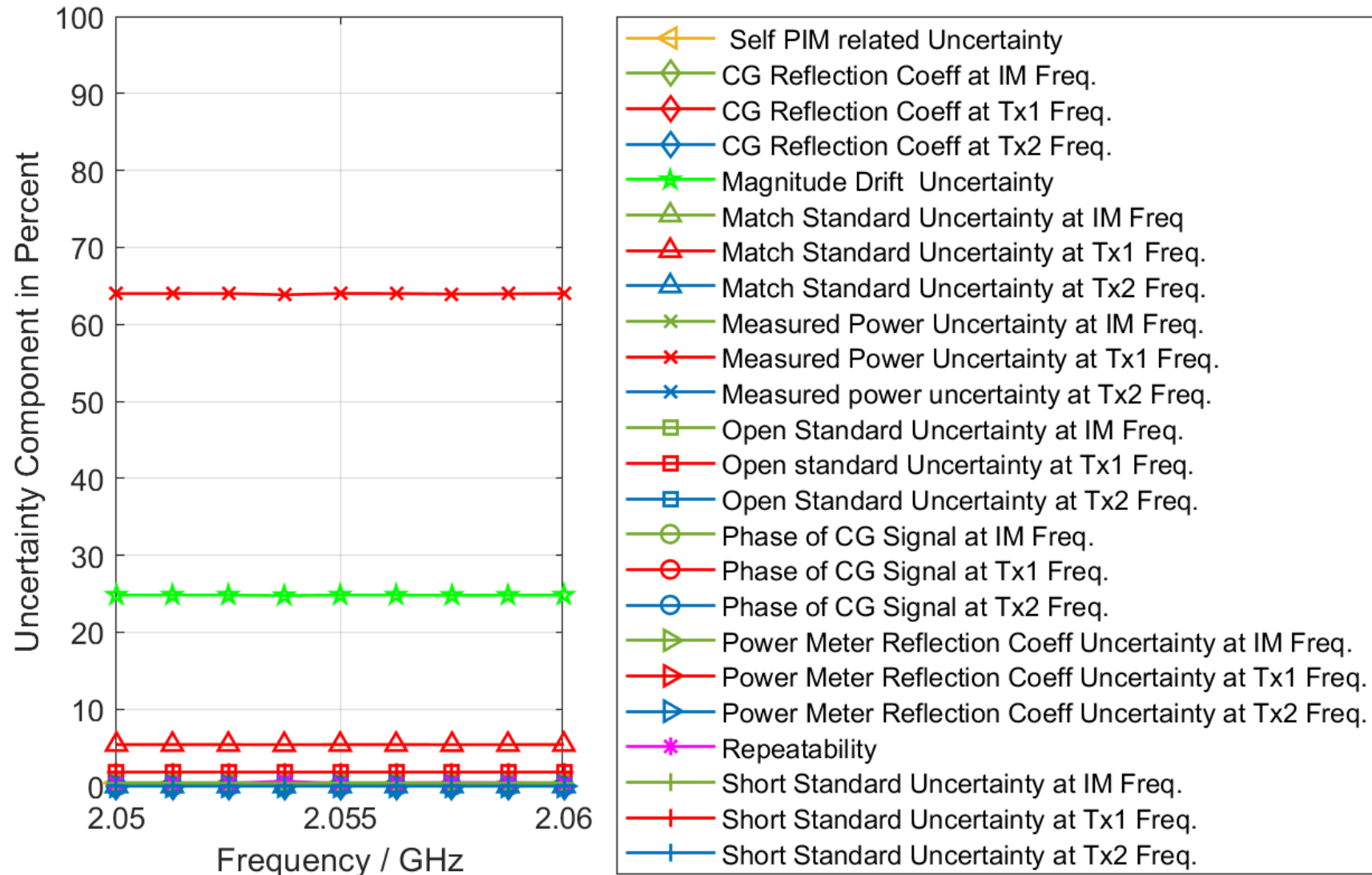


amplitude vs. frequency

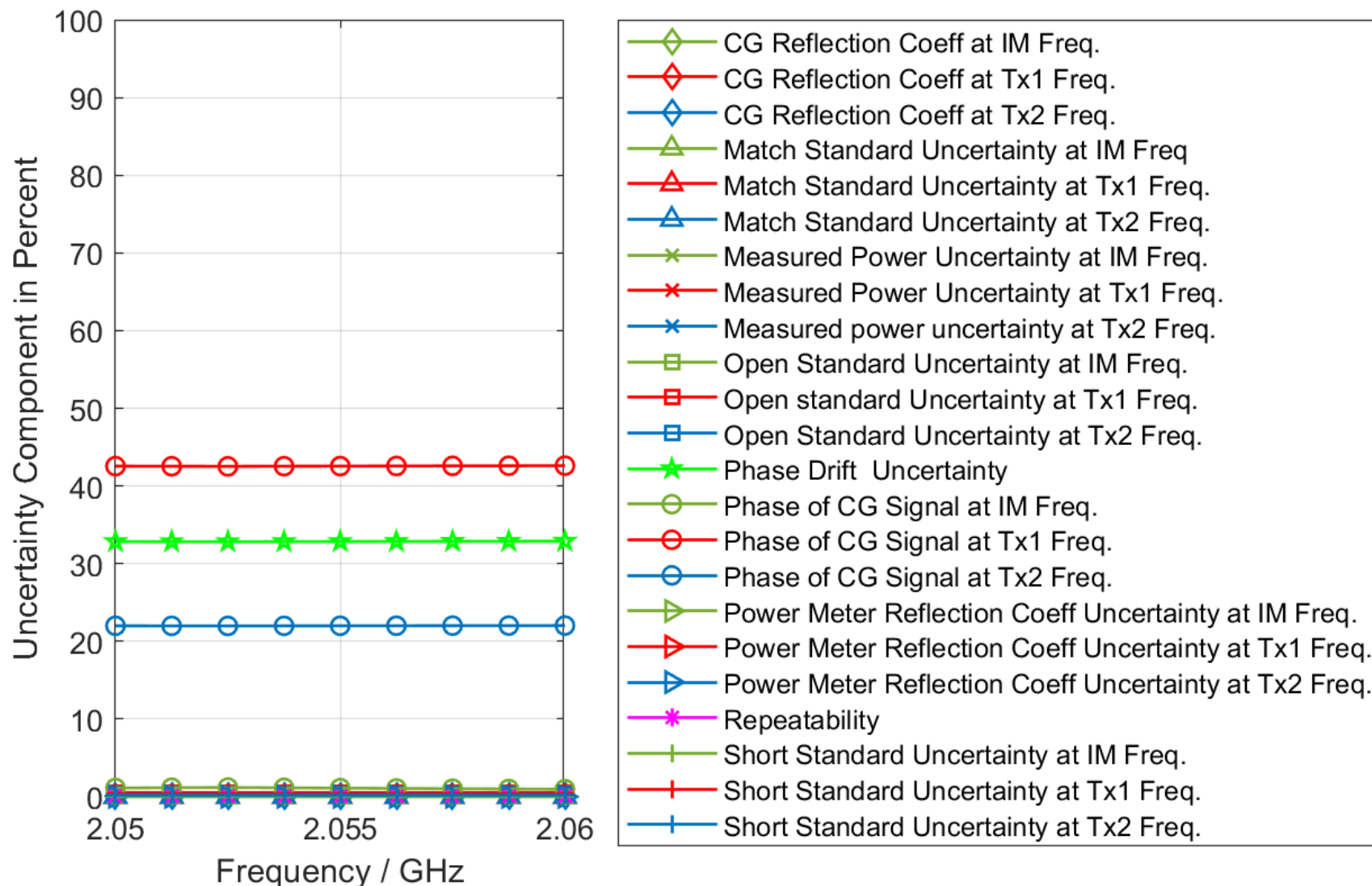


phase vs. frequency

# Uncertainty Budget: IM3 amplitude



# Uncertainty Budget: IM3 phase



# Conclusion and next steps

---

- First measurement results obtained
- Uncertainties for all calibration standards considered
- First estimate of an uncertainty budget achieved

## Next steps

- Traceable characterization of 4.3-10 OSM calibration kit.
- Calculate results with uncertainties for different types of PIM standards.



# Thank you for your attention



**Physikalisch-Technische Bundesanstalt  
Braunschweig and Berlin**

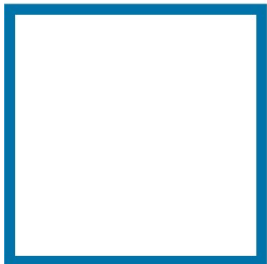
Bundesallee 100  
38116 Braunschweig

Ahmed Sayegh

Telefon: 0531 592-2242

E-Mail: [ahmed.sayegh@ptb.de](mailto:ahmed.sayegh@ptb.de)

[www.ptb.de](http://www.ptb.de)



# Bearbeitungshinweise

Bitte nach Möglichkeit nicht den Folienmaster verändern.

**Kopf- und Fußzeile** (ist im Folienmaster hinterlegt):

**Aktivieren** der Kopf- und Fußzeile in der Bearbeitungsansicht:

Registerkarte „Einfügen“ aufrufen/Kopf-Fußzeile-Feld öffnen/ Felder „Datum“, „Foliennummer“ und „Fußzeile“ anhängen/ benötigte Daten in die Felder des Fensters eingeben/

Entscheiden, ob diese Daten für alle oder eine Folie übernommen werden sollen.

**Deaktivieren** in der Bearbeitungsansicht:

Registerkarte „Einfügen“ aufrufen/Kopf-Fußzeile-Feld öffnen/die Häkchen entfernen, für alle Folien oder für die aktuell bearbeitete übernehmen.

Um Logos usw. rasch ein- oder auszublenden, können Sie die in der Registerkarte „Entwurf“ ganz rechts außen das Feld „Hintergrundformate einblenden“ aktivieren bzw. deaktivieren.

Falls Sie für Ihren Vortrag Fotos z. B. Ihres Arbeitsbereiches) benötigen, wenden Sie sich bitte an die Bildstelle (Z.169).

**Die Verwendung der Layout-Angebote „Standort Braunschweig“ und „Standort Berlin“ ist optional, ebenfalls die Verwendung der Schlussfolie**– diese sollte nicht für Präsentationen in größeren Räumen eingesetzt werden.

**Bitte verzichten Sie am Schluss des Vortrags auf den nicht mehr zeitgemäßen Satz „Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit“ – ersetzen Sie ihn durch ein aussagekräftiges Foto, eine Aufforderung zur Diskussion o. ä.**

# Gestaltungshilfen:



**PTB-Blau:**  
Farbmodell RGB  
R = 0  
G = 155  
B = 206



**Blauton nur zur Verwendung  
in Präsentationen und deren Ausdruck:**  
Farbmodell RGB

R = 0  
G = 115  
B = 170

(Abweichung zum Ausgleich der veränderten  
Darstellung des „PTB-Blaus“ durch den  
Beamer)

**Überschrift 1: Arial 28 Fettdruck**

Überschrift 2 / Texte: Arial 24

In einem Vortrag verwendete Schriftgrößen sollen nicht kleiner als 18, besser 20 Pt. sein; Schriften ohne Serifen können die Zuschauer besser entziffern. In einer Präsentation möglichst eine Schriftart beibehalten.



Registriertes PTB Logo (Logarithmische Uhr **und** Wortmarke) – in diesem Farbton nur verwendbar für  
Powerpoint-Präsentationen und deren Ausdruck (Copy and Paste)



**Physikalisch-Technische Bundesanstalt**  
**Braunschweig and Berlin**  
National Metrology Institute