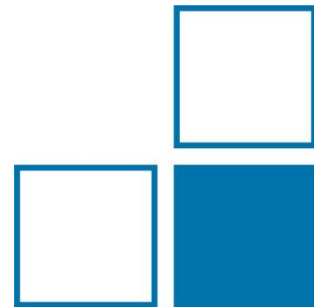


Kalibrierung der Zeitbasis und Ausgangsfrequenzen von Messgeräten

mittels Messprogramm in LabVIEW

Arne Wissel, 2.22

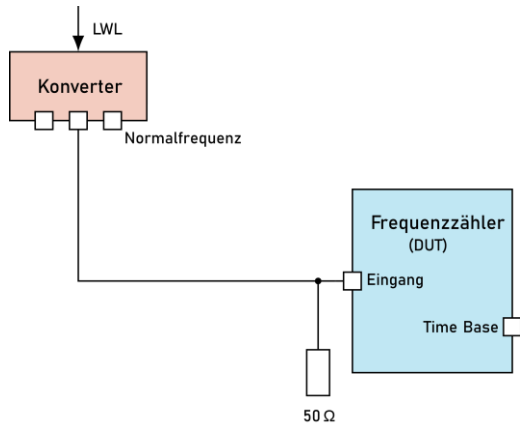


- Motivation
- Kalibrierung von Frequenzzählern
- Kalibrierung von Signalgeneratoren
- Messunsicherheitsbetrachtung
- Messprogramm
- Messaufbau
- Beispiele
- Fazit

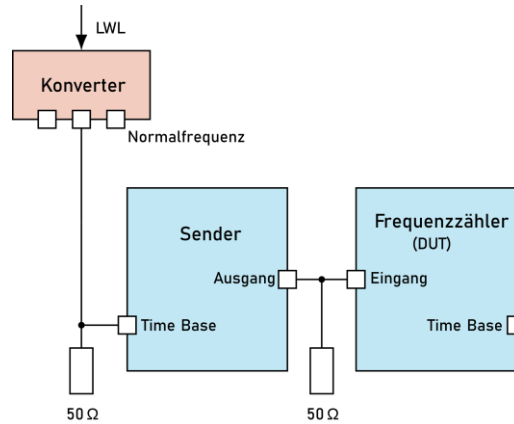
- präzise rückgeführte Messgeräte:
 - interne Zeitbasis
 - erzeugte Ausgangsfrequenzen
- vielfältige Geräte, vielfältig eingesetzt
- übliches Vorgehen in 17025-Laboren:
 - Versand zum Hersteller
 - Herstellerkalibrierung

- NMIs verschicken ungern ihre primären Messplätze (Transportrisiko, Drift, ...)
 - daher: **PTB-interner Kal.-Service** (CleverLab) für
 - Multimeter
 - Temperatur- und Feuchtesensoren
 - ...
- im FB 2.2:
 - Frequenzzähler und Signalgeneratoren (Messsender)

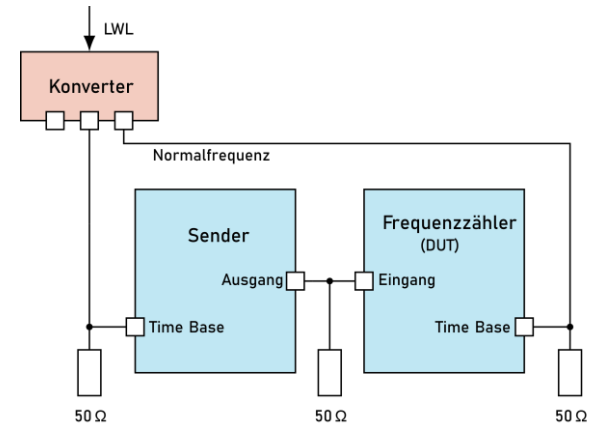
Kalibrierung Frequenzzähler



Normalfrequenzmessung

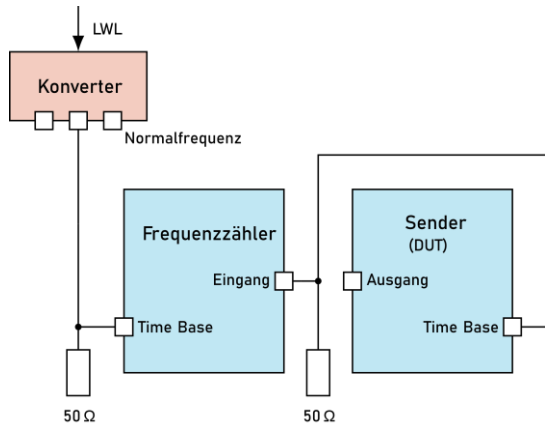


frei laufender
Frequenzzähler

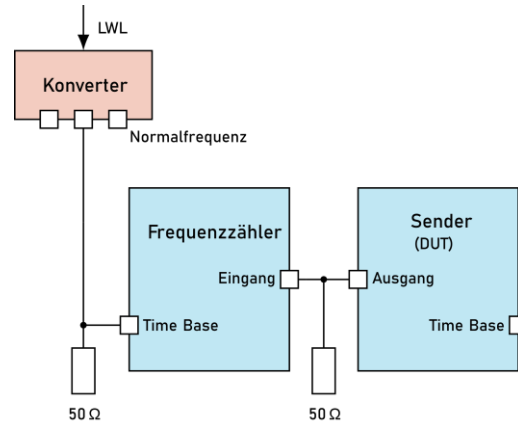


gelockter Frequenzzähler

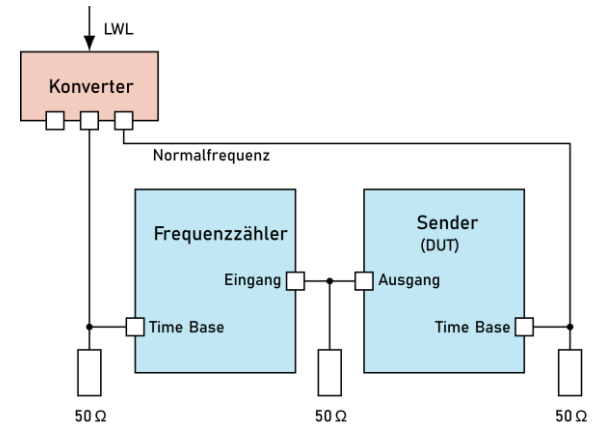
Kalibrierung Signalgeneratoren



Lokaloszillatormessung



frei laufender
Messsender



gelockter Messsender

Fehlermodell nach GUM:

$$f_{\text{Err}} = f_{\text{Anzeige}} - f_{\text{Soll}} + \delta f_{\text{LSB}} + \delta f_{\text{Jitter}} (+\delta f_{\text{Konv}} + \delta f_{\text{Gerät}})$$

f_{Anzeige}	f_{Soll}	δf_{LSB}	δf_{Jitter}	δf_{Konv}	$\delta f_{\text{Gerät}}$
abgelesener Messwert	Sollfrequenz	Anzeigeauflösung Zähler	Jitterfehler Zähler	Jitterfehler Konverter	Jitterfehler des DUT
stat. Analyse (Typ A)	normalverteilt (Typ B)	rechteckverteilt (Typ B)	rechteckverteilt (Typ B)	rechteckverteilt (Typ B)	rechteckverteilt (Typ B)

Fehlermodell nach GUM:

$$f_{\text{Err}} = f_{\text{Anzeige}} - f_{\text{Soll}} + \delta f_{\text{LSB}} + \delta f_{\text{Jitter}} (+\delta f_{\text{Konv}} + \delta f_{\text{Gerät}})$$

$$u_{\text{Anzeige}}(f_{\text{Err}}) = u(f_{\text{Anzeige}}) \cdot c_i(f_{\text{Anzeige}})$$

	u_{Anzeige}	u_{Soll}	u_{LSB}	u_{Jitter}	u_{Konv}	$u_{\text{Gerät}}$
$u(f_x)$	$\frac{s(f_{\text{Anzeige}})}{\sqrt{n}}$	$\frac{f_{\text{Soll}} \cdot U(f_{\text{Soll}})}{2}$	$\frac{1\text{Hz}}{\sqrt{3}}$	$\frac{1\text{Hz}}{\sqrt{3}}$	$\frac{1\text{Hz}}{\sqrt{3}}$	$\frac{1\text{Hz}}{\sqrt{3}}$
$c_i(f_x)$	+1	-1	+1	+1	+1	+1

Fehlermodell nach GUM:

$$f_{\text{Err}} = f_{\text{Anzeige}} - f_{\text{Soll}} + \delta f_{\text{LSB}} + \delta f_{\text{Jitter}} (+\delta f_{\text{Konv}} + \delta f_{\text{Gerät}})$$

$$u_{\text{Anzeige}}(f_{\text{Err}}) = u(f_{\text{Anzeige}}) \cdot c_i(f_{\text{Anzeige}})$$


Gesamtunsicherheit:

$$u(f_{\text{Err}}) = \sqrt{u_{\text{Anzeige}}^2(f_{\text{Err}}) + u_{\text{Soll}}^2(f_{\text{Err}}) + u_{\text{LSB}}^2(f_{\text{Err}}) + u_{\text{Jitter}}^2(f_{\text{Err}}) + u_{\text{Konv}}^2(f_{\text{Err}}) + u_{\text{Gerät}}^2(f_{\text{Err}})}$$

Ergebnisgrößen:

- absolute Abweichung: $\Delta f_{\text{Kal}} = \mu - f_{\text{Kal}}$
- absolute erw. Unsicherheit: $U_{\text{Kal}} = k \cdot u(f_{\text{Err}}) = 2 \cdot u(f_{\text{Err}})$
- relative Abweichung: $\delta f_{\text{Kal,rel}} = \frac{\Delta f_{\text{Kal}}}{f_{\text{Kal}}}$
- relative Unsicherheit: $\delta U_{\text{Kal,rel}} = \frac{2 \cdot u(f_{\text{Err}})}{f_{\text{Kal}}}$

Programm beenden



Frequenzmessung und Kalibrierung
AG 2.22 Hochfrequenz-Basisgrößen

Messobjekt

*.ini-Datei des Messobjektes

Typ

Fehler!

Bezeichnung

Fehler!

Inventarnummer

Fehler!

Rückführungsnummer

Fehler!

Frequenzeingang-Informationen

Fehler!

weitere Geräte

*.ini-Datei des Messenders oder des Frequenzmessers

Typ

Fehler!

Bezeichnung

Fehler!

Inventarnummer

Fehler!

Rückführungsnummer

Fehler!

Frequenzeingang-Informationen

Fehler!

Konverter

*.ini-Datei des Konverters

Beschreibung

Fehler!

Normalfrequenz in Hz

Fehler!

Relative erw. Unsicherheit

Fehler!

Frequenz Ausgang-Informationen

Fehler!

Messverwaltung

☒ Normalfrequenz

☒ Freilaufender Zähler

☒ Gelockter Zähler

Kalibrateur

AG 2.22

Notizen

Bildschirmaufnahme

Wartezeit zw. Messungen (ms): 1000

Datei-Management

Speicherort

Dateiname (ohne Dateierweiterung)

Reset

☒ Handmessung inaktiv

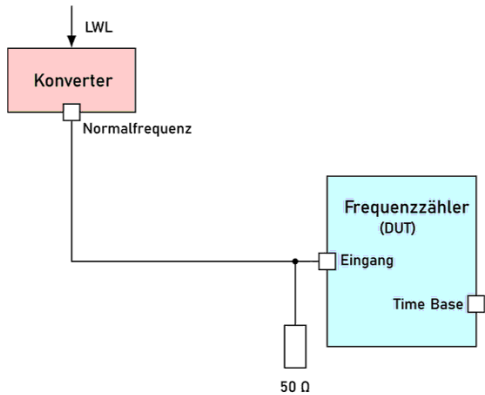
☐ Handmessung aktiv

GPiB-Test vor der Messung

Sichern und weiter

Normalfrequenzmessung

mit frei laufendem Frequenzzähler



Die Normalfrequenz wird über den Lichtwellenleiteranschluss bereitgestellt. Ein Konverter wandelt dieses optische Signal in ein elektrisches Signal um. Dieses wird zur Anpassung mit einem 50 Ohm-Widerstand an den Eingang des Frequenzzählers eingespeist.

Programm beenden

Anzahl Messwerte	Messfrequenz (Hz)	Leistung (dBm)	Band	Gate Time (s)	Channel	Auflösung (Hz)
35	10 MHz					

Anzahl Messwerte	Messfreq. (MHz)	Band

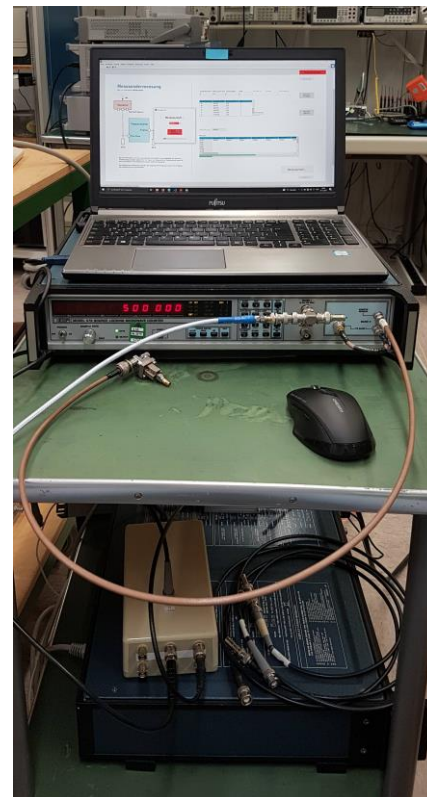
geschätzte Dauer für alle Messwerte: 0 min 0 s

Letzter Messwert:

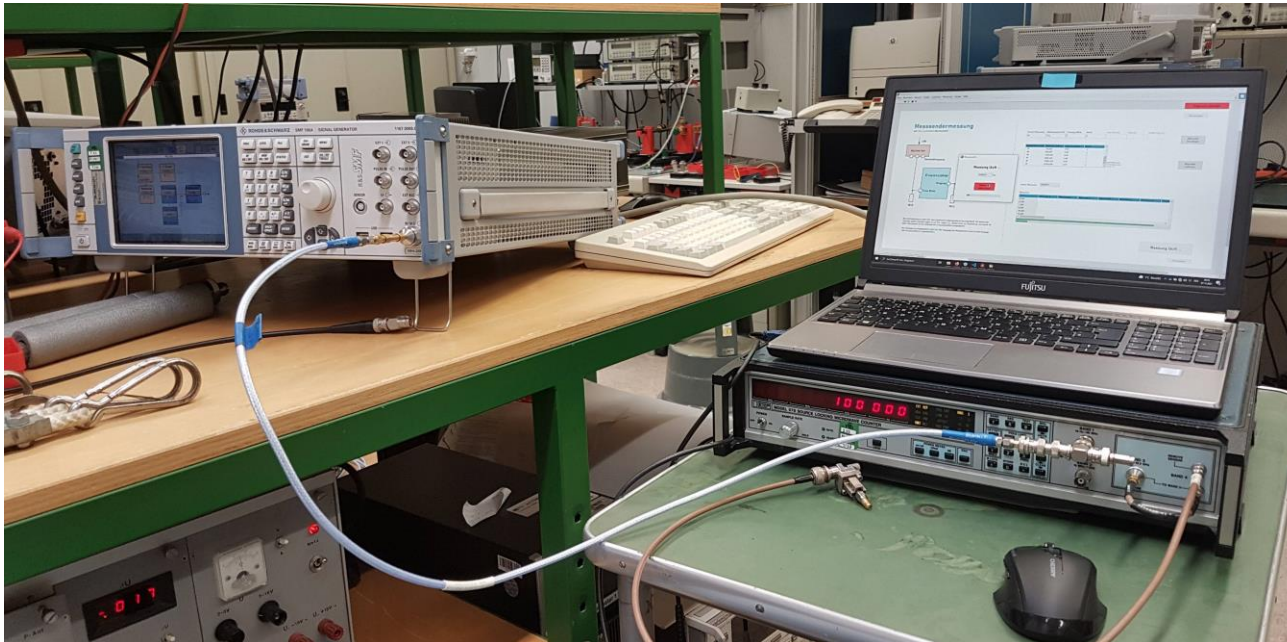
Messwerte

Messwerte							

- mobiler Messwagen, mit:
 - Konverter
 - Frequenzzähler
 - Laptop + Software



Messung im Laborumfeld: SMF 100A



Normalfrequenzmessung

Sollfrequenz (GHz)	abs. Abweichung (Hz)	abs. Unsicherheit (Hz)	rel. Abweichung	rel. Unsicherheit
0,01	-2,25	1,639	-2,25E-07	1,64E-07
0,01	-2,4	1,641	-2,40E-07	1,64E-07

Beispiel: EIP Model 578

frei laufender Frequenzzähler

Sollfrequenz (GHz)	abs. Abweichung (Hz)	abs. Unsicherheit (Hz)	rel. Abweichung	rel. Unsicherheit
0,00025	-0,1	1,636	-4,00E-07	6,54E-06
0,0005	-0,1	1,636	-2,00E-07	3,27E-06
0,001	-0,5	1,641	-5,00E-07	1,64E-06
0,005	-1,225	1,638	-2,45E-07	3,28E-07
0,01	-2,325	1,64	-2,33E-07	1,64E-07
0,05	-11,125	1,636	-2,23E-07	3,27E-08
0,1	-22,3	1,64	-2,23E-07	1,64E-08
0,01	-2	1,633	-2,00E-07	1,63E-07
0,05	-11,15	1,637	-2,23E-07	3,27E-08
0,1	-22,25	1,639	-2,23E-07	1,64E-08
0,5	-111,725	1,639	-2,24E-07	3,28E-09
1	-223,625	1,645	-2,24E-07	1,65E-09
1	-223,575	1,642	-2,24E-07	1,64E-09
5	-1117,225	1,703	-2,23E-07	3,41E-10
10	-2238,45	2,244	-2,24E-07	2,24E-10
26	-5820,325	5,071	-2,24E-07	1,95E-10

Beispiel: EIP Model 578

gelockter Frequenzzähler

Sollfrequenz (GHz)	abs. Abweichung (Hz)	abs. Unsicherheit (Hz)	rel. Abweichung	rel. Unsicherheit
0,00025	0	2,309	0,00E+00	9,24E-06
0,0005	0	2,309	0,00E+00	4,62E-06
0,001	0	2,309	0,00E+00	2,31E-06
0,005	0	2,309	0,00E+00	4,62E-07
0,01	0,9	2,311	9,00E-08	2,31E-07
0,05	0,1	2,311	2,00E-09	4,62E-08
0,1	0	2,309	0,00E+00	2,31E-08
0,01	0	2,309	0,00E+00	2,31E-07
0,05	0	2,309	0,00E+00	4,62E-08
0,1	0	2,309	0,00E+00	2,31E-08
0,5	0	2,309	0,00E+00	4,62E-09
1	0,075	2,312	7,50E-11	2,31E-09
1	0,025	2,31	2,50E-11	2,31E-09
5	0,35	2,332	7,00E-11	4,66E-10
10	0,375	2,404	3,75E-11	2,40E-10
26	1,05	3,107	4,04E-11	1,20E-10

Beispiel: Agilent E8257D

gelockter Signalgenerator: offenbar fehlerhaftes Gerät

Sollfrequenz (GHz)	abs. Abweichung (Hz)	abs. Unsicherheit (Hz)	rel. Abweichung	rel. Unsicherheit
0,001	121094,857	349,599	1,21E-01	3,50E-04
0,01	0	2,309	0	2,31E-07
0,1	0,057	2,311	5,71E-10	2,31E-08
1	-500000000	2,336	-5,00E-01	2,34E-09
10	4,743	5,527	4,74E-10	5,53E-10

- Rückführung der Frequenz auf 10 MHz Normalfrequenz der PTB (rel. erw. U bei 10^{-12})
 - Weitergabe der rel. erw. U bis 10^{-9}
- Messung mit rückgeführten Geräten für möglichst präzise Messungen
- **Unsicherheitsbetrachtung** nach GUM
- Interner Kalibrierschein für Messgeräte



**Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Braunschweig und Berlin**

Bundesallee 100

38116 Braunschweig

Arne Wissel

Telefon: 0531 592-2247

E-Mail: arne.wissel@ptb.de

www.ptb.de

R&S: SMA 100A, frei laufender Signalgenerator

	$u(f_{\text{Anzeige}})$	$u(f_{\text{Kal}})$	$u(df_{\text{LSB}})$	$u(df_{\text{Jitter}})$
	Anteil in %	Anteil in %	Anteil in %	Anteil in %
100000	2,81	0,00	48,60	48,60
500000	3,86	0,00	48,07	48,07
1000000	6,04	0,00	46,98	46,98
5000000	7,30	0,00	46,35	46,35
10000000	0,00	0,00	50,00	50,00