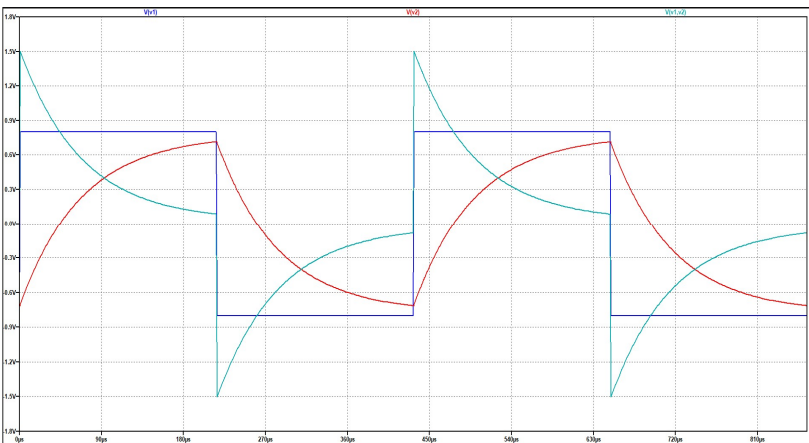
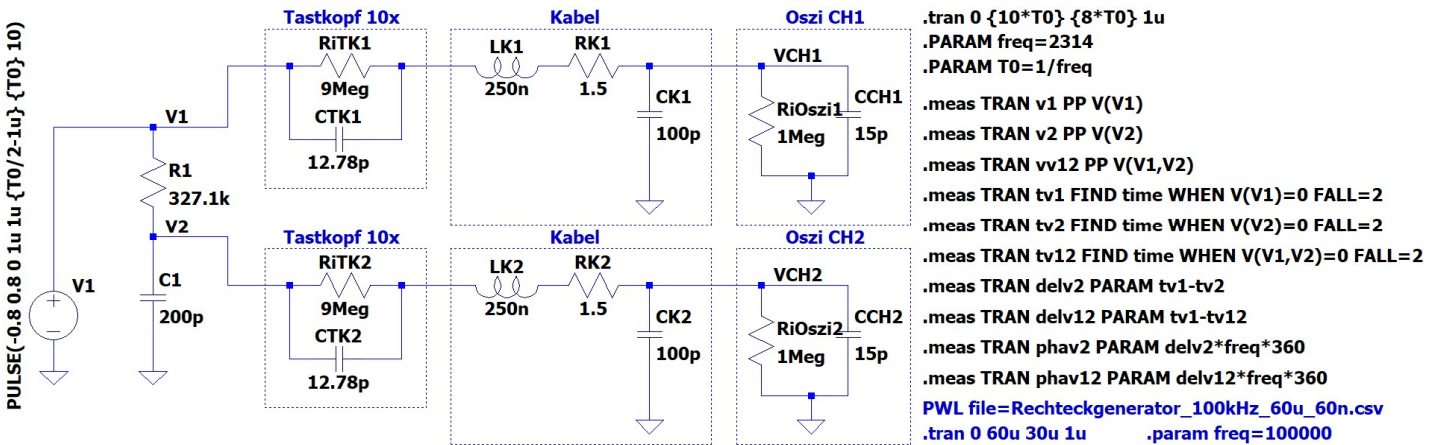


Versuch mit R und C Rechteck

Mit diesem Messaufbau sollen sich Kondensatoren mit kleinen Induktivitäten - die mit einem Multimeter üblicherweise nicht mehr gemessen werden können - messen lassen. Bei ersten Messungen hat sich gezeigt, dass der ermittelte Induktivitätswert für C1 mit der Wahl von Frequenz und Widerstand R1 stark variieren. Daher wollte ich hier die Beeinflussung der Messung durch die Messmittel berücksichtigen.

Hier zunächst die Ergebnisse einer Simulation mit LTSpice.

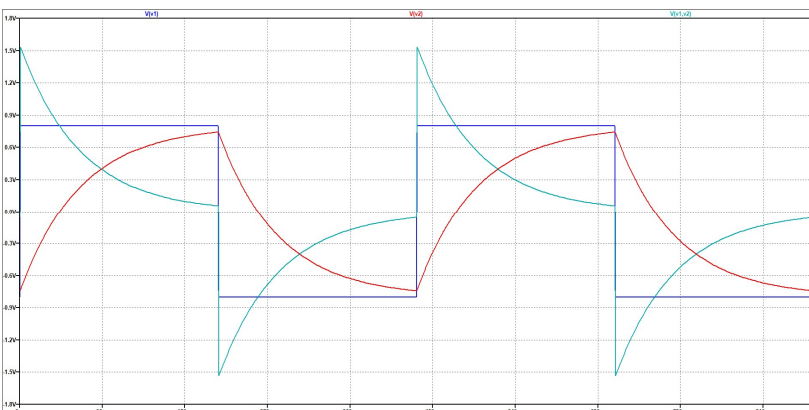
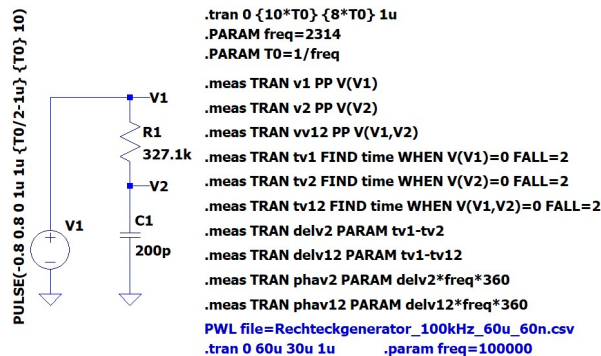


Daten aus LTSpice:

```

v1: PP(V(V1))=1.60000002384
v2: PP(V(V2))=1.43002903461
vv12: PP(V(V1,V2))=3.00875979662
tv1: time=0.000648728176318
tv2: time=0.000692554184308
tv12: time=0.000648281327336
delv2: tv1-tv2=-4.38260079904e-05
delv12: tv1-tv12=4.46848981895e-07
phav2: delv2*freq*360=-36.5088176963
phav12: delv12*freq*360=0.372243075878
    
```

Ohne Berücksichtigung von Oszi und Tastköpfen giebt sich dies:



```

v1: PP(V(V1))=1.60000002384
v2: PP(V(V2))=1.48563930692
vv12: PP(V(V1,V2))=3.0630877614
tv1: time=0.000648728176318
tv2: time=0.000691714284136
tv12: time=0.000648264172462
delv2: tv1-tv2=-4.29861078181e-05
delv12: tv1-tv12=4.6400385616e-07
phav2: delv2*freq*360=-35.8091472568
phav12: delv12*freq*360=0.386533772336
    
```

Eingabedaten:

$R1 := 327,1 \text{ k}\Omega$

$RiTK := 9 \text{ M}\Omega$

$RK := 1,5 \Omega$

$RiOszi := 1 \text{ M}\Omega$

$C1 := 200 \text{ pF}$

$ZC1(f) := \frac{-i}{\omega 0(f) \cdot C1}$

$CK := 100 \text{ pF}$

$ZCK(f) := \frac{-i}{\omega 0(f) \cdot CK}$

$CTK := 12,78 \text{ pF}$

$ZCTK(f) := \frac{-i}{\omega 0(f) \cdot CTK}$

$CCH := 15 \text{ pF}$

$ZCCH(f) := \frac{-i}{\omega 0(f) \cdot CCH}$

$LK := 250 \text{ nH}$

$ZLK(f) := i \cdot \omega 0(f) \cdot LK$

Rechteck-Schwingung aus einem Signalgenerator, bzw. von einem Computer mit einem externen USB-Audio-Interface (steinberg UR22C, 192 kHz Samplingrate, 24-Bit) erzeugt.

$\omega 0(f) := 2 \cdot \pi \cdot f$

$Vlpp := 1,6 \text{ V}$

$T0(f) := \frac{1}{f}$

$$Vla(t; f) := \begin{cases} +0,5 \cdot Vlpp & \text{if } 0 \leq \text{mod}(\omega 0(f) \cdot t; 2 \cdot \pi) < \pi \\ -0,5 \cdot Vlpp & \text{otherwise} \end{cases}$$

Nur Real! Imaginärteil ist Null!

$nmax := 20$

Achtung: nmax muss Ganzzahlig sein!

$$c(n; f) := \begin{cases} 0 & \text{if } \text{mod}(n; 2) = 0 \\ \frac{1}{T0(f)} \cdot \int_0^{T0(f)} Vla(t; f) \cdot e^{(-i) \cdot n \cdot \omega 0(f) \cdot t} dt & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Vlb(t; f) := \frac{2 \cdot Vlpp}{\pi} \cdot \left(\sum_{n=1}^{nmax} \frac{\sin((2 \cdot n - 1) \cdot \omega 0(f) \cdot t)}{2 \cdot n - 1} \right)$$

Nur Real! Imaginärteil ist Null!

$$Vlc(t; f) := \left[\frac{2 \cdot Vlpp}{\pi} \cdot \sum_{n=-nmax}^{-1} \frac{i}{2 \cdot n + 1} \cdot \sin((2 \cdot n + 1) \cdot \omega 0(f) \cdot t) \cdot e^{i \cdot (2 \cdot n + 1) \cdot \omega 0(f) \cdot t} \right] +$$

$$+ \left[\frac{2 \cdot Vlpp}{\pi} \cdot \sum_{n=1}^{nmax} \frac{i}{2 \cdot n - 1} \cdot \sin((2 \cdot n - 1) \cdot \omega 0(f) \cdot t) \cdot e^{i \cdot (2 \cdot n - 1) \cdot \omega 0(f) \cdot t} \right]$$

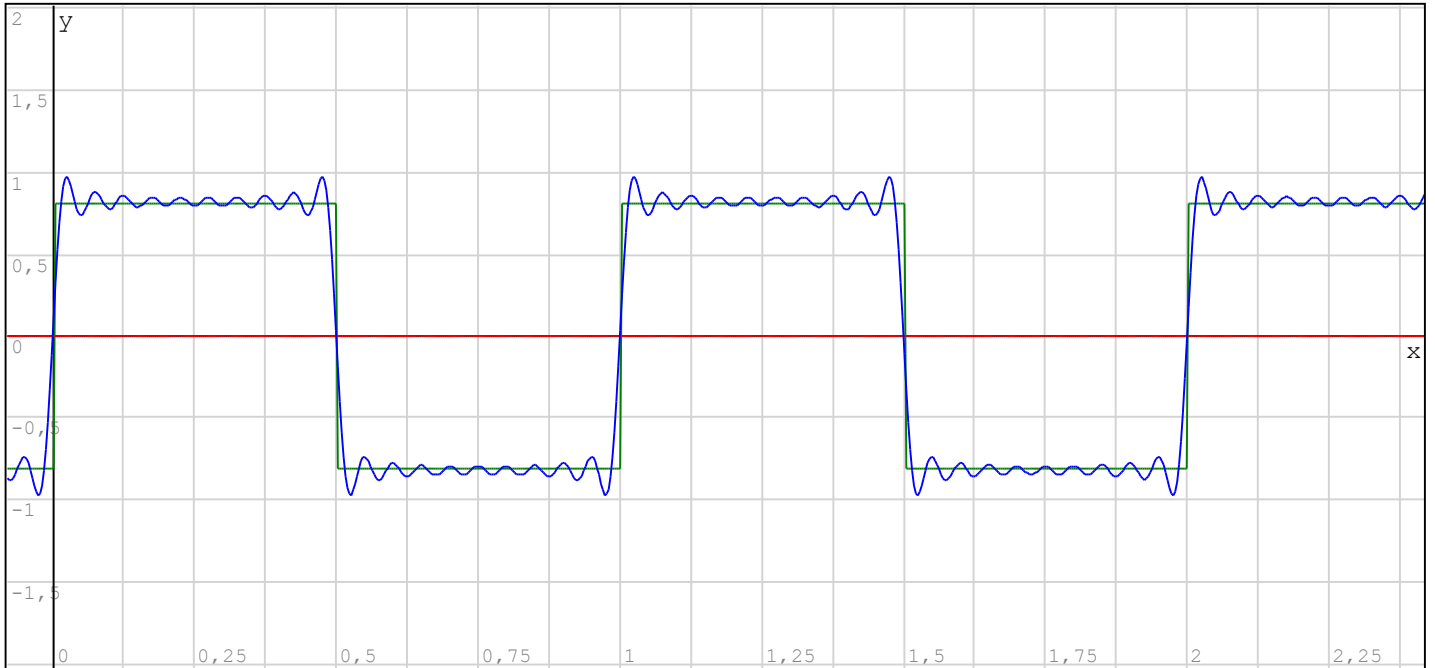
$$Vld(t; f) := \frac{4 \cdot Vlpp}{\pi} \cdot \sum_{n=1}^{nmax} \frac{1}{2 \cdot n - 1} \cdot \sin((2 \cdot n - 1) \cdot \omega 0(f) \cdot t) \cdot e^{i \cdot (2 \cdot n - 1) \cdot \omega 0(f) \cdot t}$$

$$Vle(t; f) := \left[\frac{4 \cdot Vlpp}{\pi} \cdot \sum_{n=-nmax-1}^{-1} \frac{-1}{2 \cdot n + 1} \cdot \sin(i \cdot (2 \cdot n + 1) \cdot \omega 0(f) \cdot t) \cdot e^{1 \cdot (2 \cdot n + 1) \cdot \omega 0(f) \cdot t} \right] +$$

$$+ \left[\frac{4 \cdot Vlpp}{\pi} \cdot \sum_{n=1}^{nmax+1} \frac{1}{2 \cdot n - 1} \cdot \sin((2 \cdot n - 1) \cdot \omega 0(f) \cdot t) \cdot e^{i \cdot (2 \cdot n - 1) \cdot \omega 0(f) \cdot t} \right]$$

$$Vl(t; f) := \frac{2 \cdot Vlpp}{\pi} \cdot \left(\sum_{n=-(nmax-1)}^{-1} c(n; f) \cdot e^{i \cdot n \cdot \omega 0(f) \cdot t} + \sum_{n=1}^{nmax-1} c(n; f) \cdot e^{i \cdot n \cdot \omega 0(f) \cdot t} \right)$$

$F0 := 2314 \text{ Hz}$



$$\begin{cases} \frac{\operatorname{Re}\left(V1\left(x \cdot T0\left(F0\right); F0\right)\right)}{\sqrt{\quad}} \\ \frac{\operatorname{Im}\left(V1\left(x \cdot T0\left(F0\right); F0\right)\right)}{\sqrt{\quad}} \\ \frac{V1a\left(x \cdot T0\left(F0\right); F0\right)}{\sqrt{\quad}} \end{cases}$$

Zusammenstellung der Übertragungsfunktionen:

$$Z_{Oszi}(f) := \frac{RiOszi \cdot Z_{CCH}(f)}{RiOszi + Z_{CCH}(f)}$$

$$Z_K(f) := \frac{(R_K + Z_{LK}(f)) \cdot Z_{CK}(f)}{R_K + Z_{LK}(f) + Z_{CK}(f)}$$

$$Z_{TK}(f) := \frac{RiTK \cdot Z_{CTK}(f)}{RiTK + Z_{CTK}(f)}$$

$$Z_{CH}(f) := Z_{Oszi}(f) + Z_K(f) + Z_{TK}(f)$$

$$Z_{gesamt}(f) := R1 + \frac{Z_{C1}(f) \cdot Z_{CH}(f)}{Z_{C1}(f) + Z_{CH}(f)}$$

Die Größe "ZCH" ist nur abhängig von Frequenz, Oszi, Kabel und Tastköpfen, also unabhängig von R1 und C1!

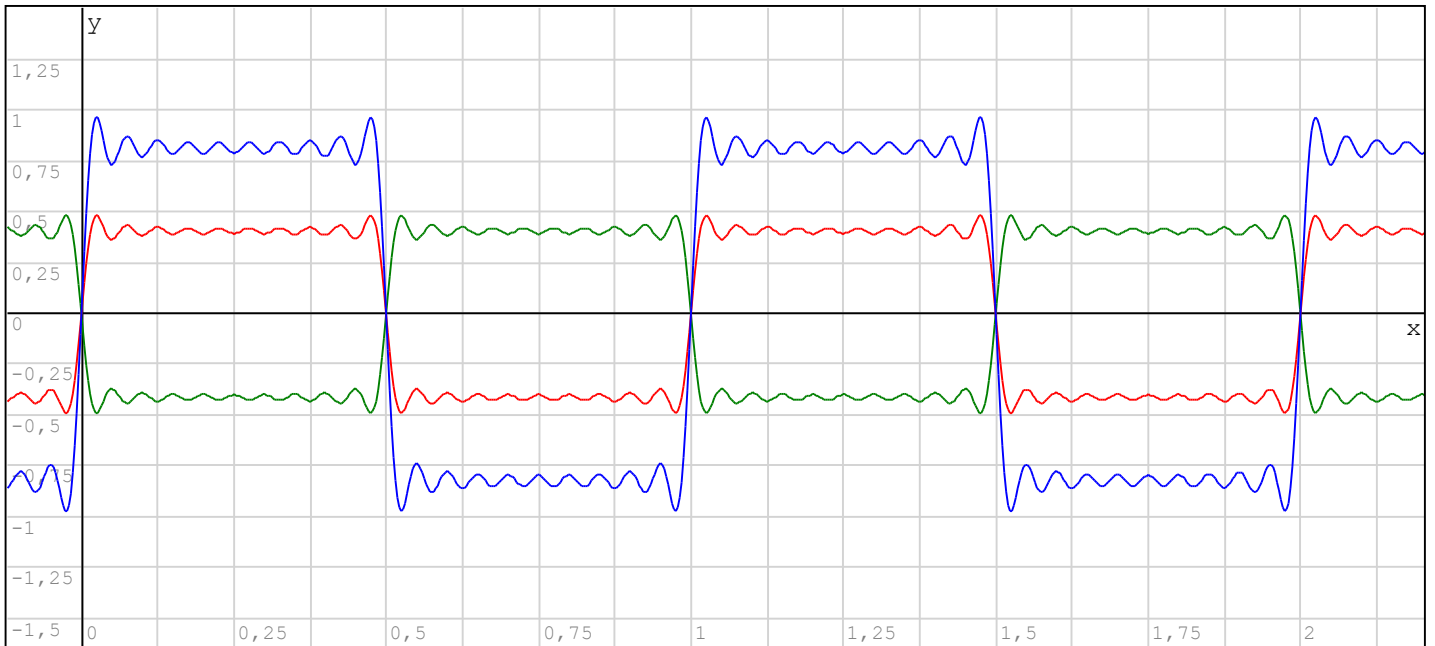
$$Z_{CH}(f) := \frac{RiOszi \cdot Z_{CCH}(f)}{RiOszi + Z_{CCH}(f)} + \frac{(R_K + Z_{LK}(f)) \cdot Z_{CK}(f)}{R_K + Z_{LK}(f) + Z_{CK}(f)} + \frac{RiTK \cdot Z_{CTK}(f)}{RiTK + Z_{CTK}(f)}$$

Es gilt: (bei gegebenem $V1zV2$ und $R1$, lässt sich $ZC1$ und damit $C1$ berechnen!)

$$V2zV1(f) := \frac{Z_{C1}(f) \cdot Z_{CH}(f)}{R1 \cdot (Z_{C1}(f) + Z_{CH}(f)) + Z_{C1}(f) \cdot Z_{CH}(f)}$$

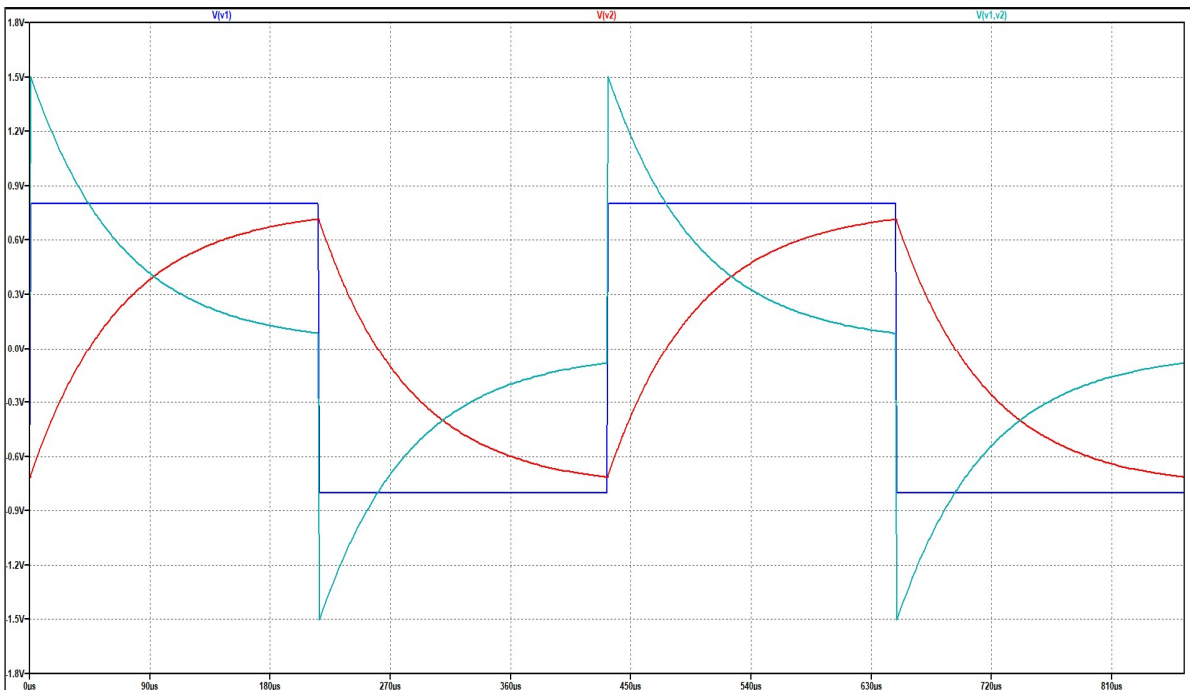
$$V2(t; f) := V2zV1(f) \cdot V1(t; f)$$

$$V12(t; f) := V2(t; f) - V1(t; f)$$

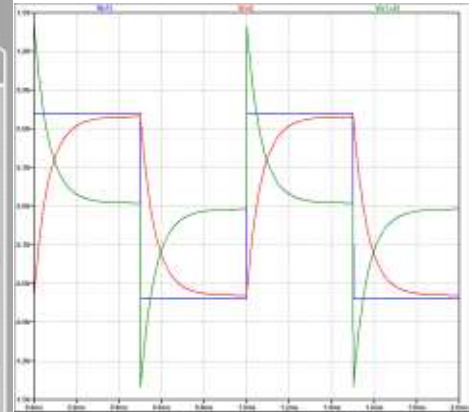
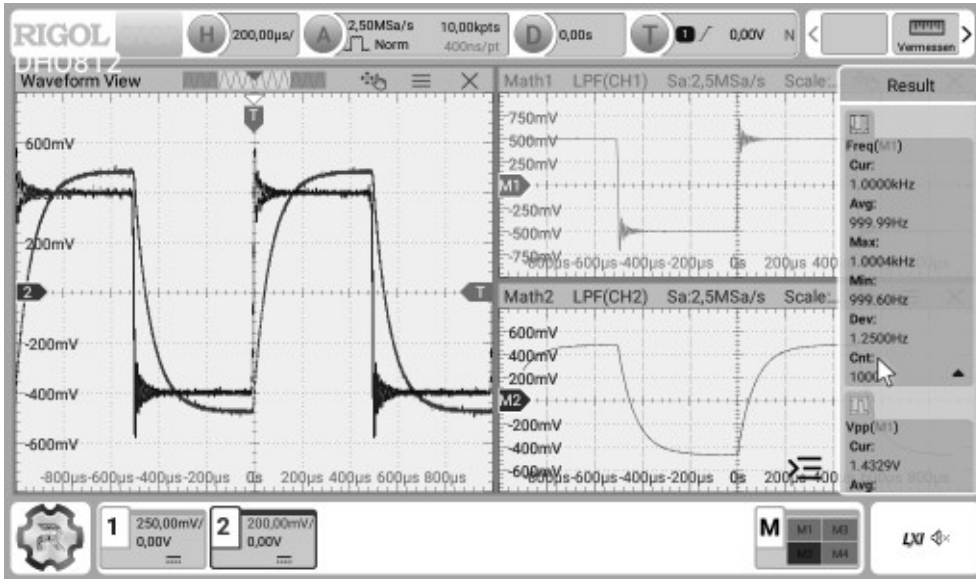


$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\text{Re} \left(V1 \left(x \cdot T0 \left(F0 \right); F0 \right) \right)}{V} \\ \frac{\text{Re} \left(V2 \left(x \cdot T0 \left(F0 \right); F0 \right) \right)}{V} \\ \frac{\text{Re} \left(V12 \left(x \cdot T0 \left(F0 \right); F0 \right) \right)}{V} \end{array} \right.$$

So sollte es aussehen?!

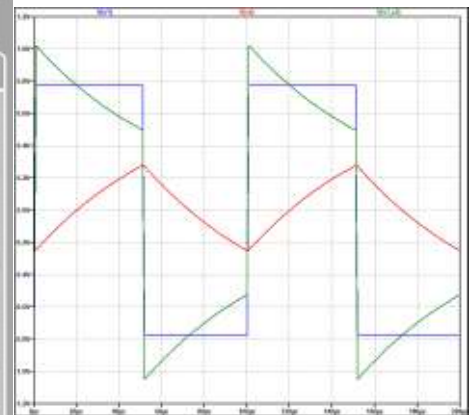
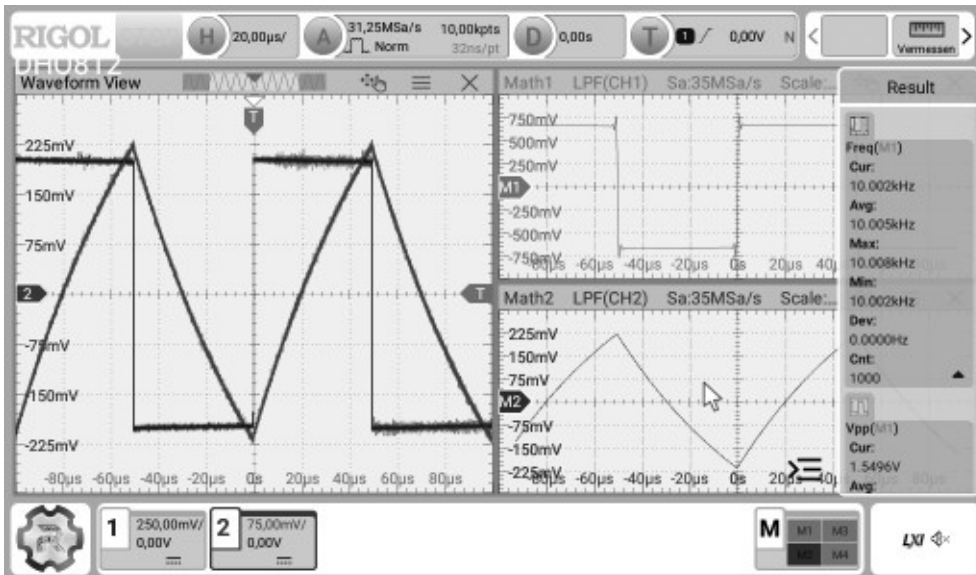


Messergebnisse



v1: PP(V(V1))=1.433349967
 v2: PP(V(V2))=1.38634705544
 vv12: PP(V(V1,V2))=2.7990809679
 tv1: time=0.0015015
 tv2: time=0.00154789834902
 tv12: time=0.00150101640869
 delv2: tv1-tv2=-4.63983490195e-05
 delv12: tv1-tv12=4.83591306884e-07
 phav2: delv2*freq*360=-16.703405647
 phav12:
 delv12*freq*360=0.174092870478

$F_{05} := 1 \text{ kHz}$ $R_{15} := R_1 = 327,1 \text{ k}\Omega$
 $V_{15pp} := 1,4335 \text{ V}$ $C_{15} := 0,20 \text{ nF}$
 $V_{25pp} := 965,27 \text{ mV}$
 $phase_5 := (-19,872)^\circ$



v1: PP(V(V1))=1.55040001869
 v2: PP(V(V2))=0.530529797077
 vv12: PP(V(V1,V2))=2.07068867981
 tv1: time=0.0001515
 tv2: time=0.000172829680345
 tv12: time=0.000151320044105
 delv2: tv1-tv2=-2.13296803454e-05
 delv12: tv1-tv12=1.79955895468e-07
 phav2: delv2*freq*360=-76.7868492433
 phav12:
 delv12*freq*360=0.647841223686

$F_{06} := 10 \text{ kHz}$ $R_{16} := R_1 = 327,1 \text{ k}\Omega$
 $V_{16pp} := 1,5504 \text{ V}$ $C_{16} := 0,20 \text{ nF}$
 $V_{26pp} := 437,21 \text{ mV}$
 $phase_6 := 46,455^\circ$