

# Electronic and Microcontroller



# RC-Tiefpass - Laborübung

1. Ladevorgang (Sprungantwort)
2. Verzögerung und Schmitt-Trigger
3. PWM – Mittelwertbildung
4. Übertragungsfunktion Sinus-Signal
5. USART-Übertragung

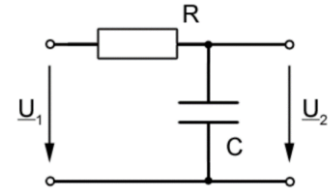
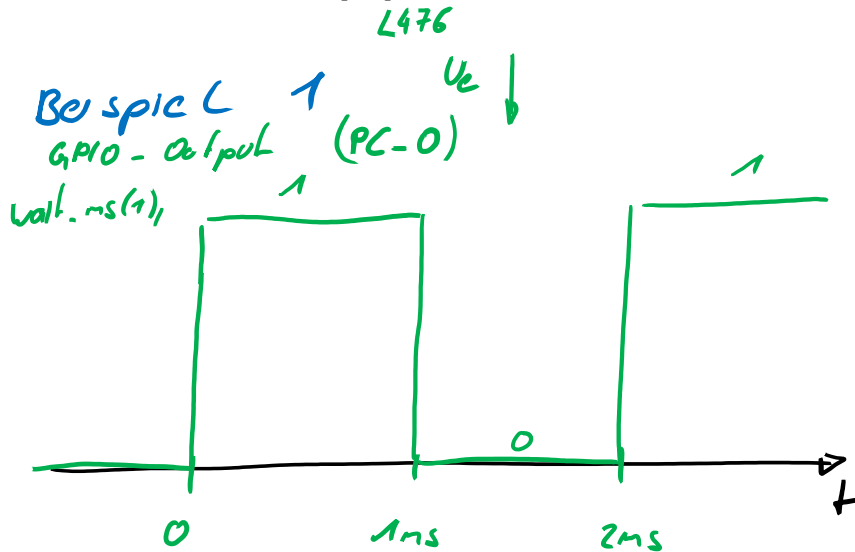
# RC – Tiefpass – Beispiel 1

> Erzeugen einer Rechteckschwingung (Mbed)

> Code ->

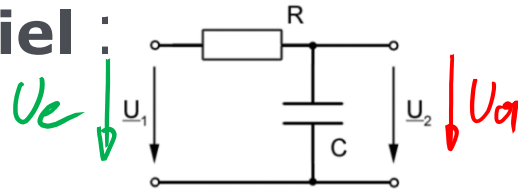
Toggle Pin\_0 GPIOC (Arduino A5)

Wait\_ms(1)



# RC – Tiefpass – Beispiel

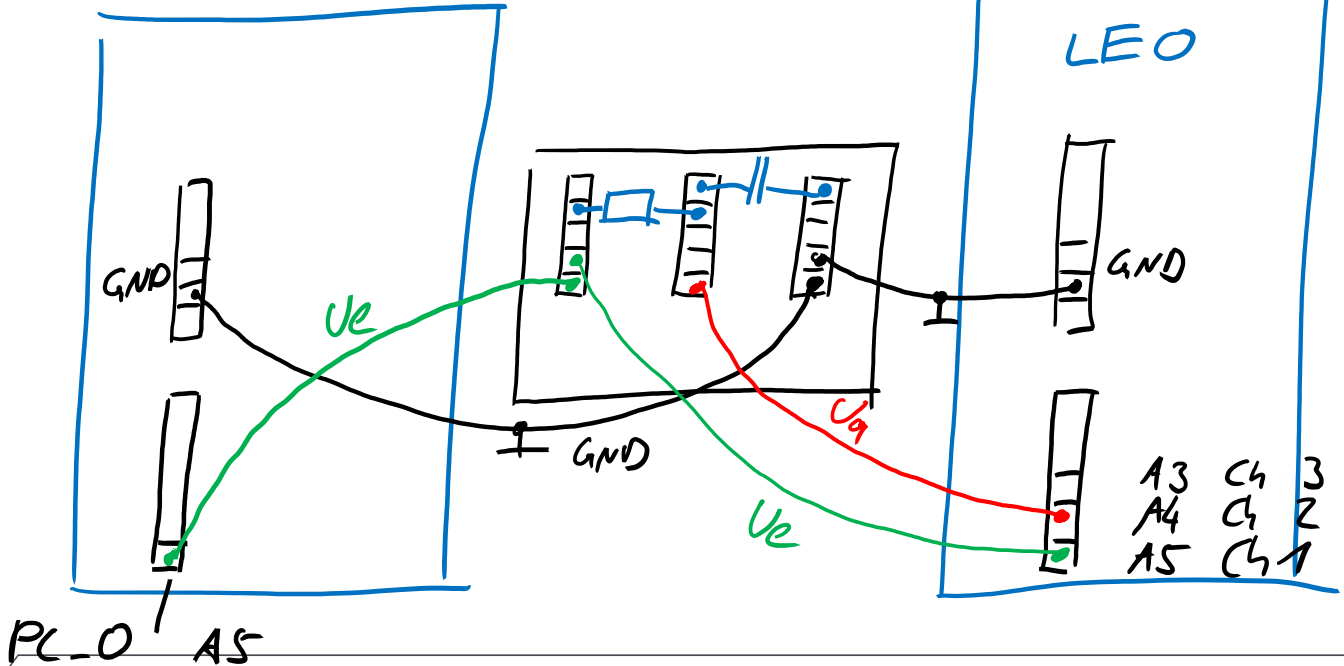
> Messschaltung



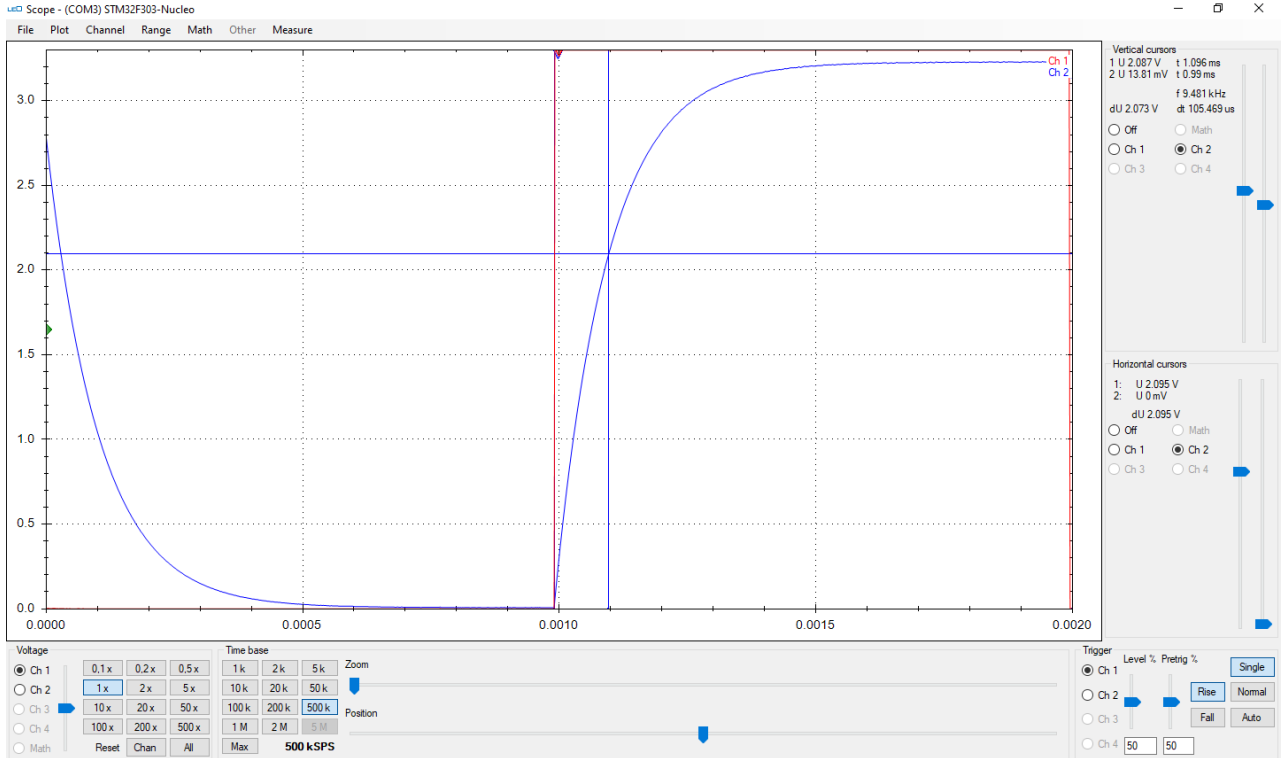
L476

F303

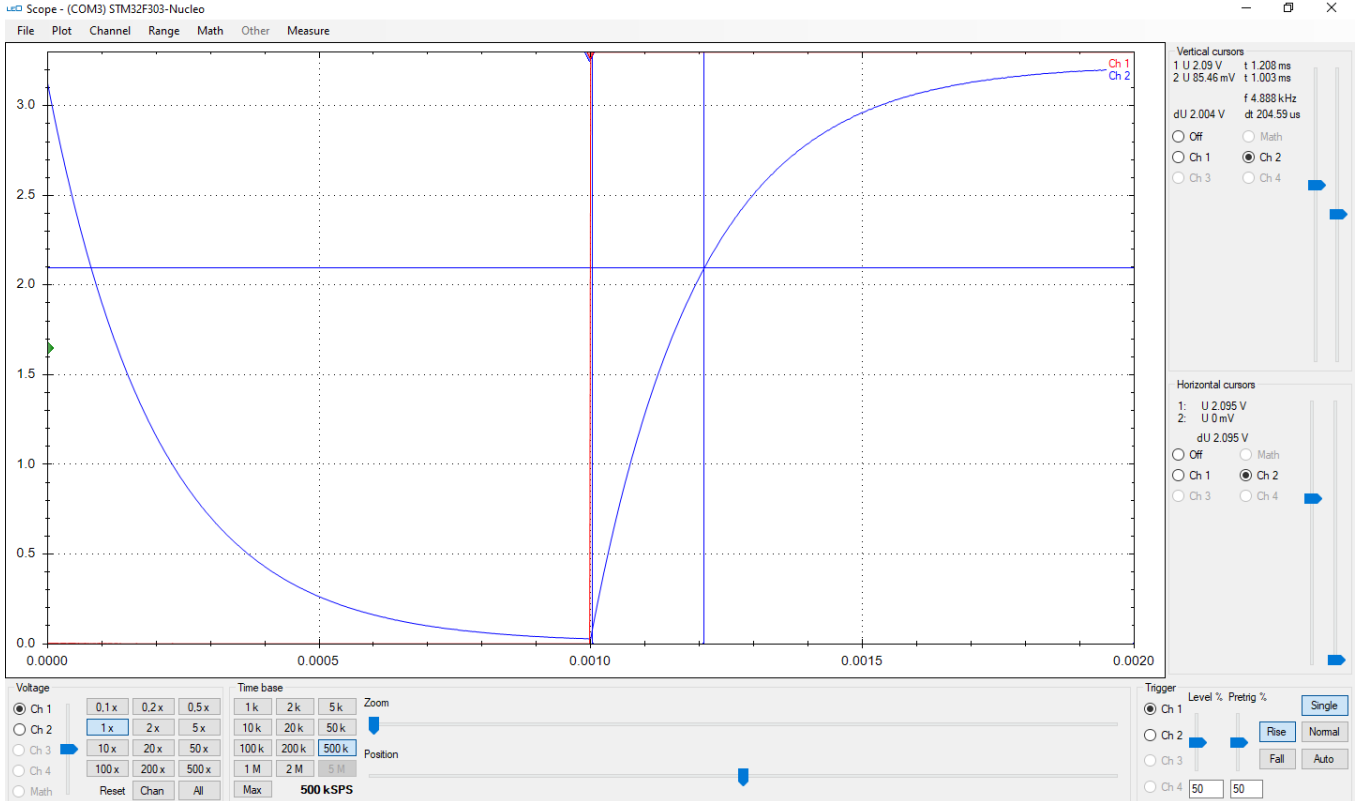
LEO



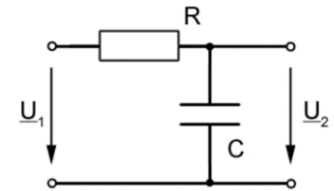
# Ladekurve $R=10\text{k}\Omega$ , $C=10\text{nF}$ , $T=100\mu\text{s}$



# Ladekurve $R=10\text{k}\Omega$ , $C=20\text{nF}$ , $T=100\mu\text{s}$



# RC – Tiefpass – Beispiel 2



Erzeugen einer Rechteckschwingung mit dem Funktionsgenerator des LEO wird ausgegeben am Arduino-Anschluß A2

Instrulab - (COM5) STM32F303-Nucleo

File Settings Help

Device info

### STM32F303-Nucleo

General	Digital to analog	Analog to Digital
Device STM32F303RE	Sampling frequency 2 Msps	Sampling frequency 4 Msps
Core frequency 72MHz	Data depth 12 bits	Buffer length 50k bytes
Connection UART (115200 baud) RX-PA3 TX-PA2	Buffer length 2k bytes	Voltage ref. 3300 mV
	Voltage ref. 3300 mV	Channels 4
	Channels 2	Scope pin A5, A4, A3, PB14
Firmware Version 2.11 b10	<b>Generator pin A2, D13</b>	
FreeRTOS V7.6.0	Voltage source	Voltmeter
ST HAL V1.1.1	<b>Generator</b>	Oscilloscope

COM5: STM32F303-Nucleo

KATEDRA MĚŘENÍ  
CVUT V PRAZE  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

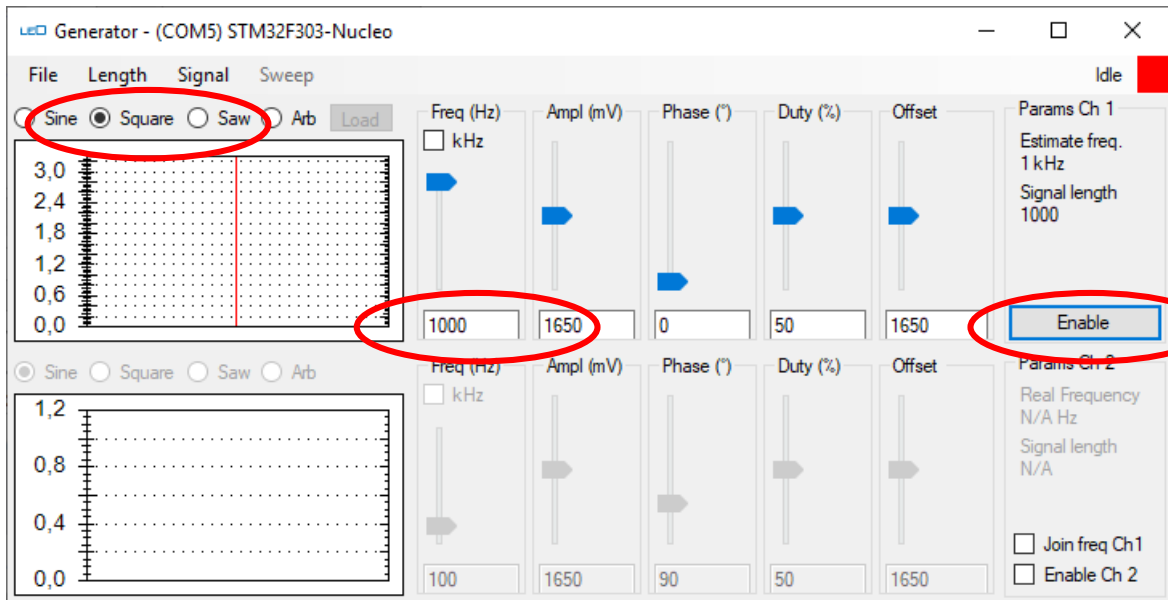
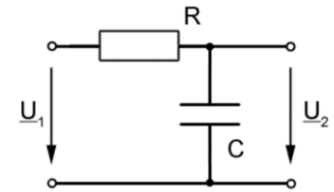
Disconnect Scan

Connected to COM5

CTU FEE 2016 - Jiří Hladík

# RC – Tiefpass – Beispiel 2

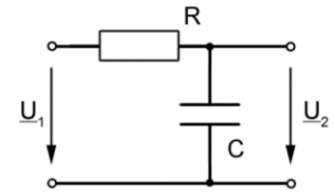
Erzeugen einer Rechteckschwingung mit dem Funktionsgenerator des LEO wird ausgegeben am Arduino-Anschluß A2





# RC – Tiefpass – Beispiel 2

Messung mit dem Oszilloskop des LEO



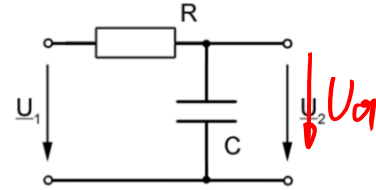
Anschlüsse nach Arduino-Bezeichnung!

1. Eingangsspannung am Channel 1 – Anschluß A5
2. Spannung am Kondensator am Channel 2 – A4
3. Digitaler Ausgang des L476 am Channel 3 – D4

Software für den L476 in STCubeMX erzeugen:  
GPIO Input an PC0 = GPIO Output an PB5

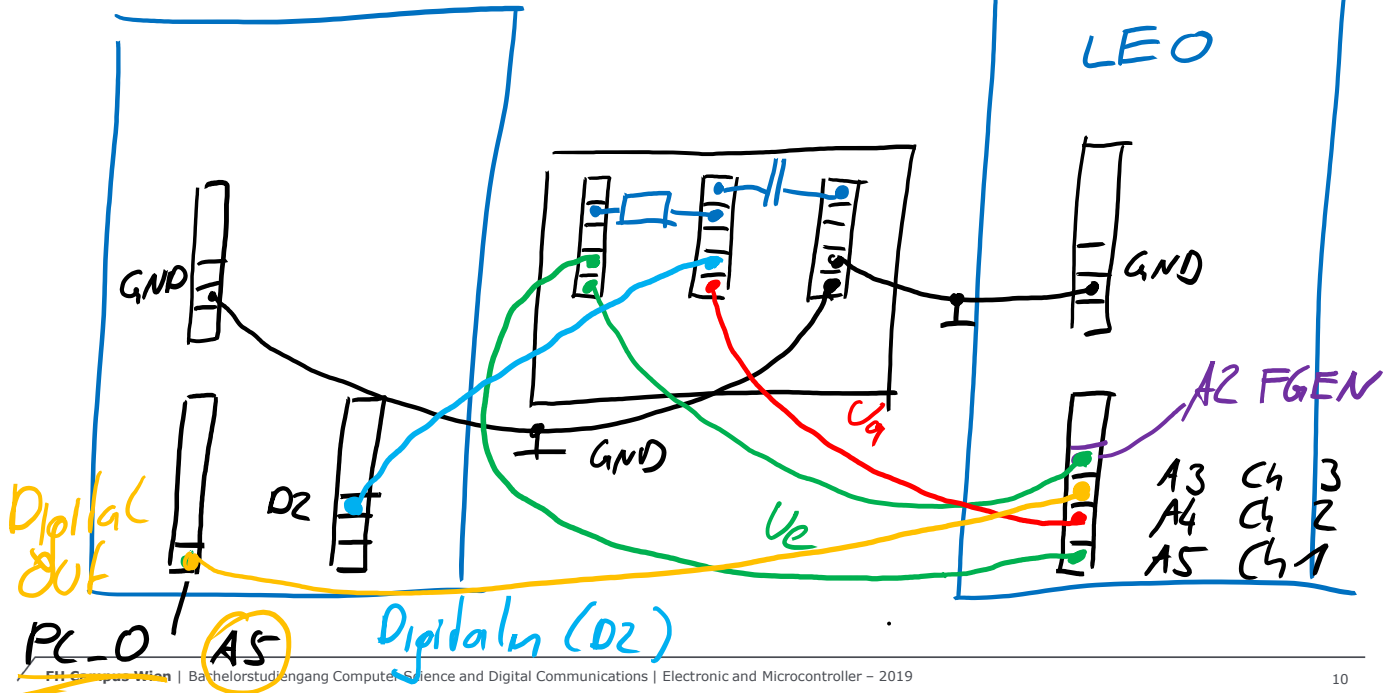
# RC – Tiefpass – Beispiel 2

$U_e$



L476

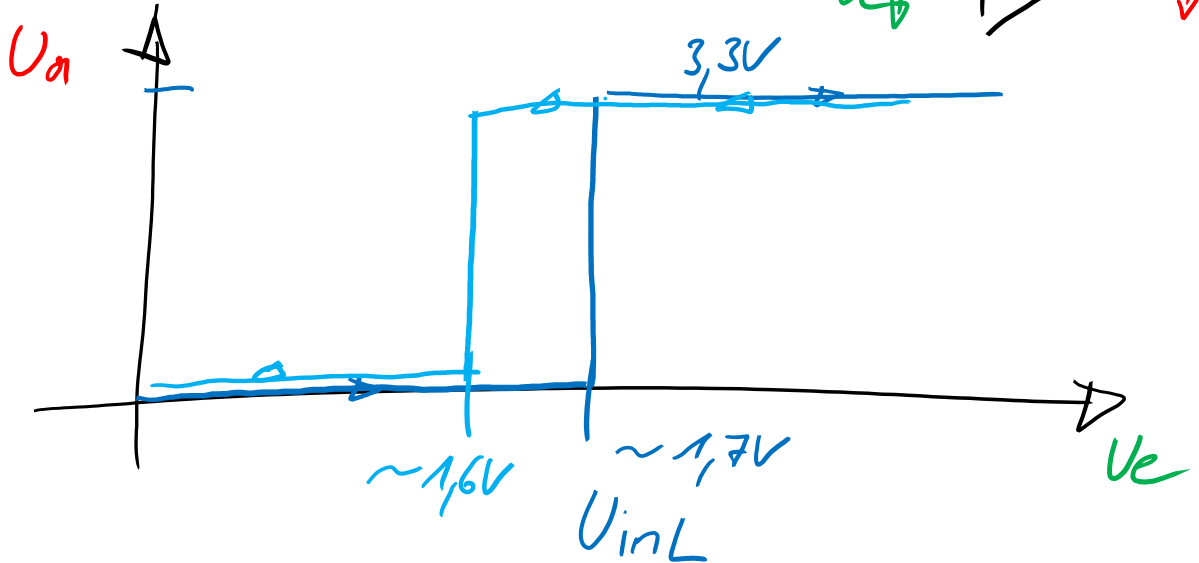
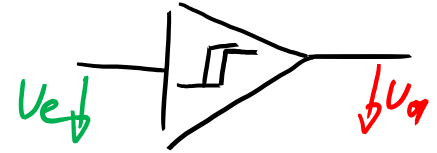
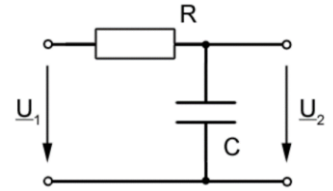
F303



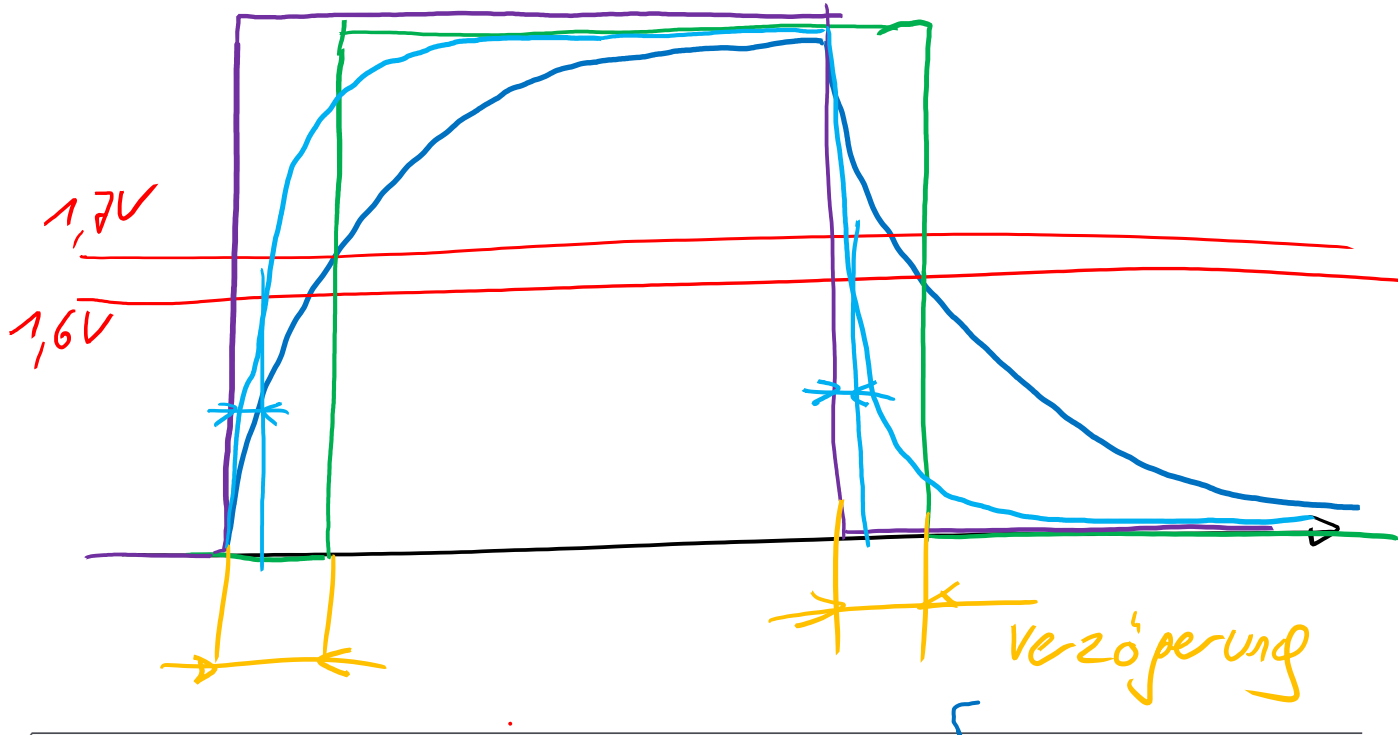
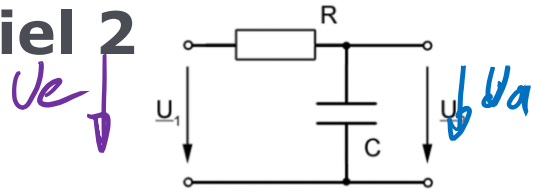
# RC – Tiefpass – Beispiel 2

GPIO Input

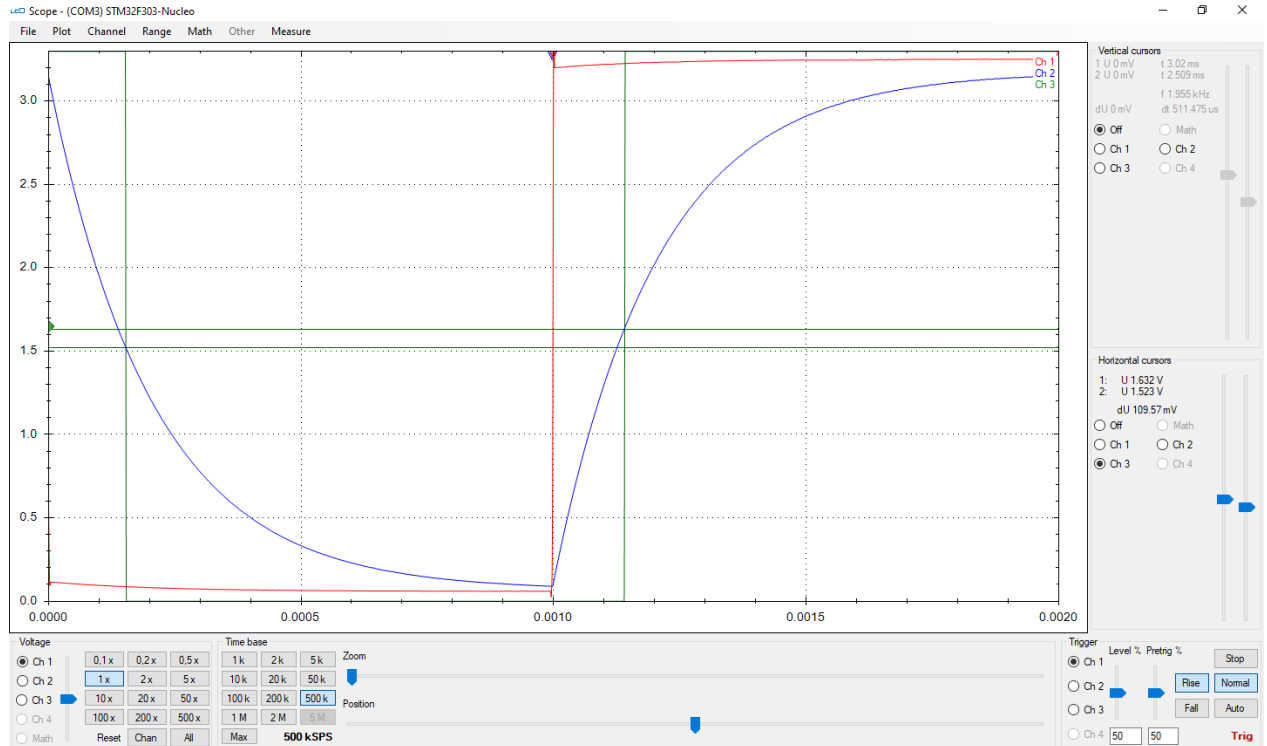
→ Schmitt-Trigger



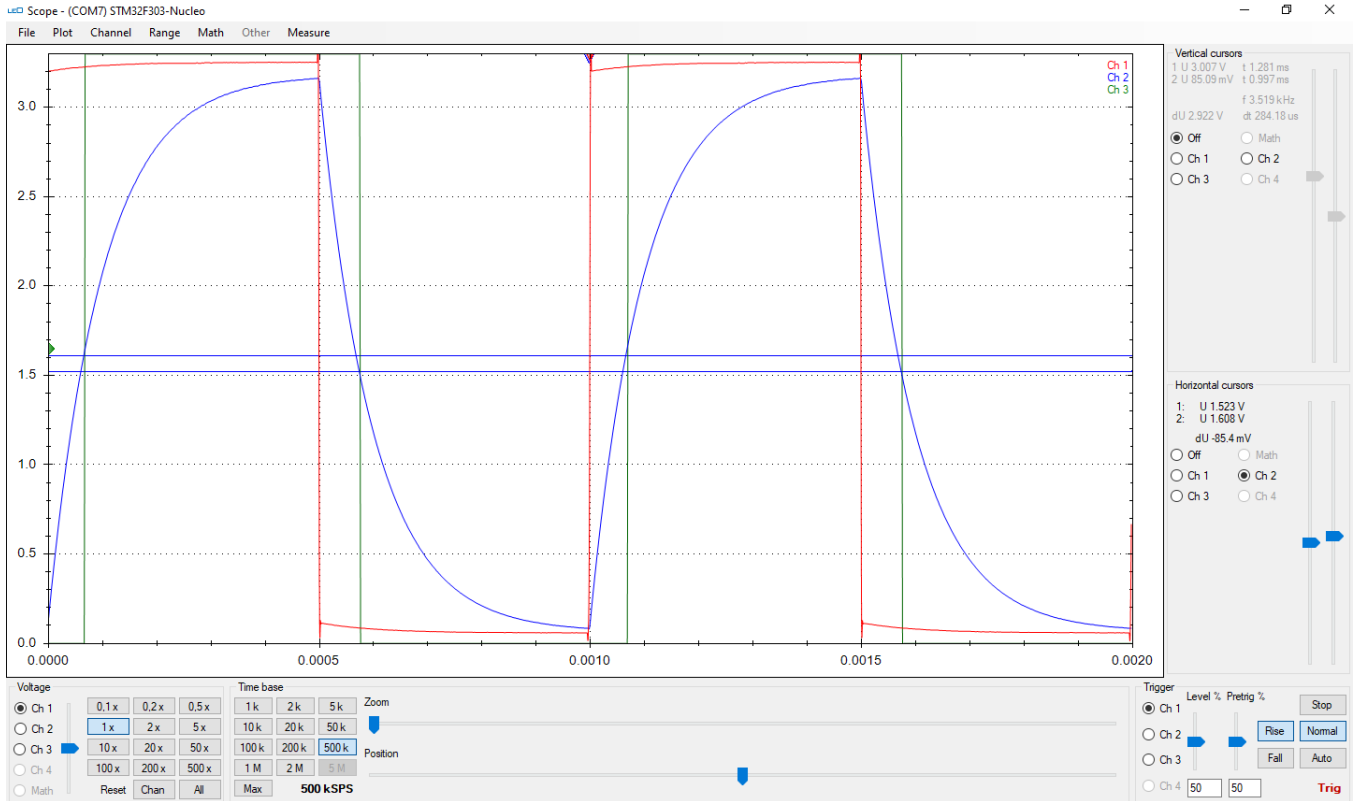
# RC – Tiefpass – Beispiel 2



# Verzögerung und Schaltspannung

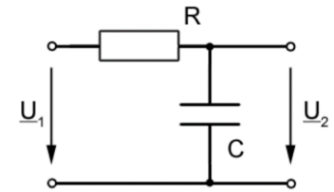


# Verzögerung und Schaltspannung



# RC – Tiefpass – Beispiel 3

Erzeugen eines PWM-Signals (75%)  
mit dem Funktionsgenerator des LEO  
wird ausgegeben am Arduino-Anschluß A2



Generator - (COM5) STM32F303-Nucleo

File Length Signal Sweep

Sine  Square  Saw  Arb

3,0  
2,4  
1,8  
1,2  
0,6  
0,0

Freq (Hz) Ampl (mV) Phase (°) **Duty (%)** Offset

kHz

1000 1650 0 **75** 1650

Params Ch 1

Estimate freq.  
1 kHz  
Signal length  
1000

Sine  Square  Saw  Arb

1,2  
0,8  
0,4  
0,0

Freq (Hz) Ampl (mV) Phase (°) Duty (%) Offset

kHz

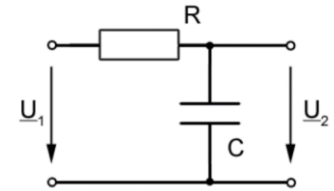
100 1650 90 50 1650

Params Ch 2

Real Frequency  
N/A Hz  
Signal length  
N/A

Join freq Ch1  
 Enable Ch 2

# RC – Tiefpass – Beispiel 3



Messung mit dem Oszilloskop des LEO  
Anschlüsse nach Arduino-Bezeichnung!

1. Eingangsspannung am Channel 1 – Anschluß A5
2. Spannung am Kondensator am Channel 2 – A4

Variieren Sie die Pulsweite von 10%-90%

Ab welcher Frequenz ist nur mehr der Mittelwert mit  
leichter Welligkeit erkennbar?

## Aufgabenstellung für Fortgeschrittene:

Erzeugen Sie das PWM-Signal  
mit einem Timer in STCubeMx

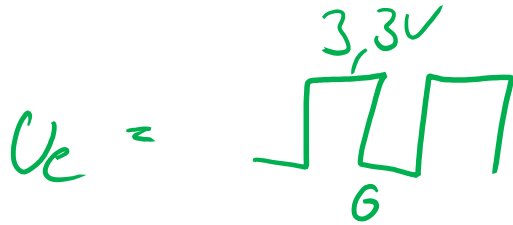
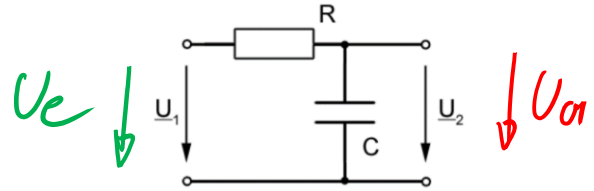
Verändern Sie die Pulsweite jede Sekunde (`while(1)`)  
in 10% Schritten im Bereich 10-90%



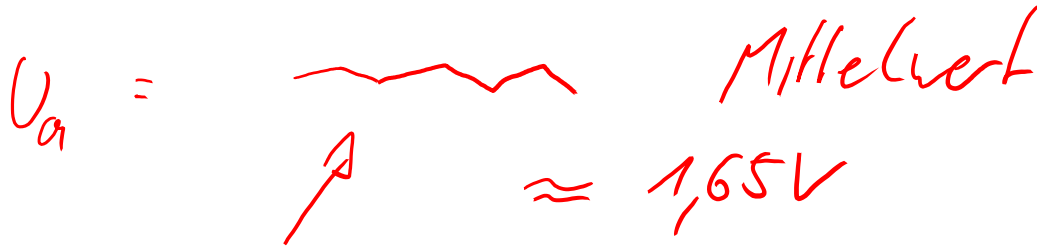
# GPIO – STM32 – Examples STCubeMX

- > Erzeugen Sie mit Hilfe von zwei Timern ein PWM-Signal mit einer Periodendauer von a) 1ms und b) 100 $\mu$ s
- > Die Pulsweite verändern Sie für mehrere Messungen auf 25% // 50% // 75%
- > Verbinden Sie dieses Signal mit einem RC-Tiefpass mit den Werten R=10k $\Omega$  und C=10nF
- > Messen Sie mit dem LEO die Eingangs- und die Ausgangsspannung.
- > Berechnen Sie die Zeitkonstante und überprüfen Sie damit Ihr Messergebnis.

# RC - Tiefpass



$f = 504 \text{ Hz}$



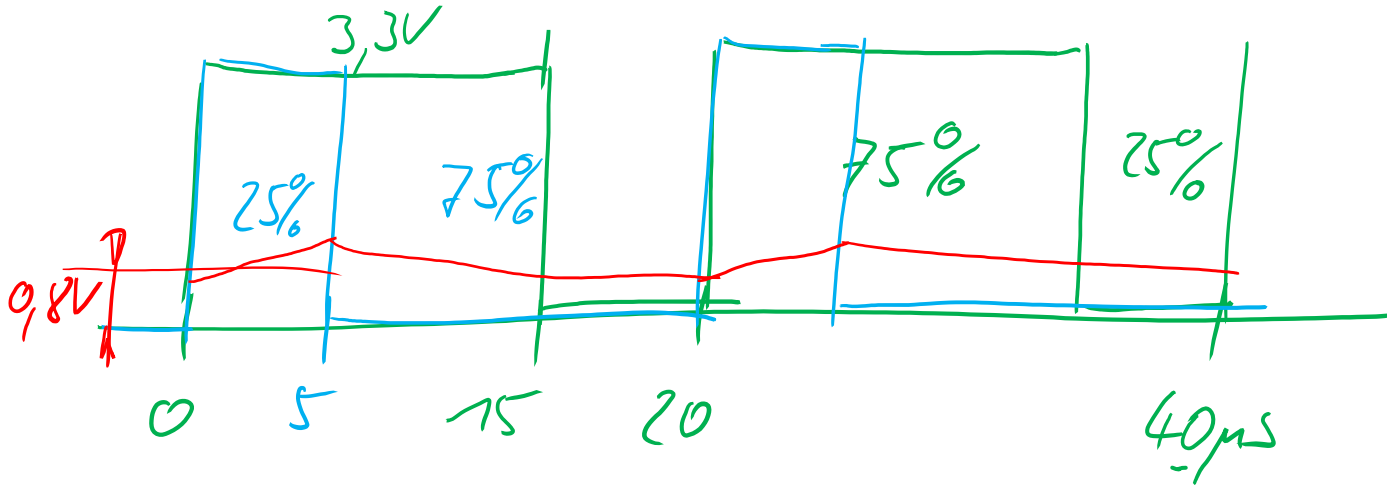
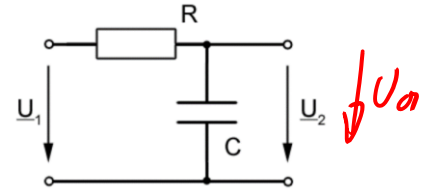
"lockte" Wellenpaket

# RC - Tiefpass

$U_e$   $f = 504\text{Hz}$

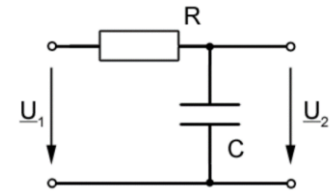
$T = 20\mu\text{s}$

Duty cycle 75%



# RC – Tiefpass – Beispiel 4

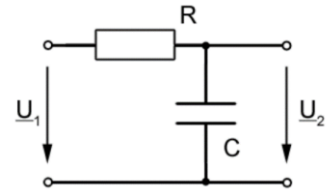
Erzeugen eines Sinus-Signals mit dem Funktionsgenerator des LEO wird ausgegeben am Arduino-Anschluß A2



The screenshot shows the 'Generator - (COM5) STM32F303-Nucleo' software window. The 'Signal' tab is active, and the 'Sine' waveform is selected, highlighted with a red circle. The main display shows a sine wave on a grid with a vertical axis from 0.0 to 3.0. The 'Freq (Hz)' control is set to 1000, also highlighted with a red circle. Other parameters are: Ampl (mV) = 1650, Phase (°) = 0, Duty (%) = 75, and Offset = 1650. A second channel is visible but disabled. The 'Enable' button for the first channel is highlighted with a red square.

Parameter	Value
Waveform	Sine
Frequency (Hz)	1000
Amplitude (mV)	1650
Phase (°)	0
Duty (%)	75
Offset	1650

# RC – Tiefpass – Beispiel 4



Messung mit dem Oszilloskop des LEO  
Anschlüsse nach Arduino-Bezeichnung!

1. Eingangsspannung am Channel 1 – Anschluß A5
2. Spannung am Kondensator am Channel 2 – A4

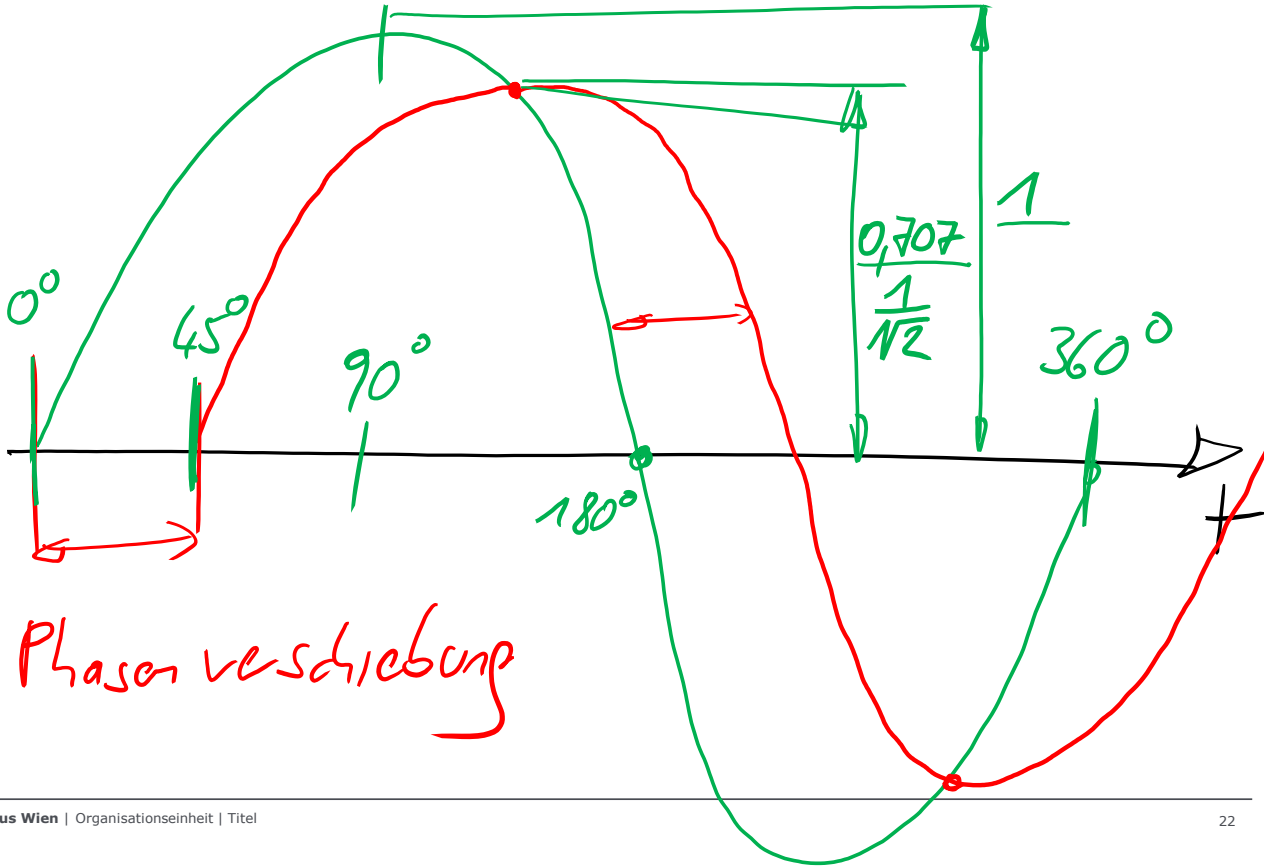
RC – Tiefpass mit folgenden Werten: 1kOhm, 10nF

Variieren Sie die Frequenz (ab 100 Hz)

Ab welcher Frequenz ist eine Phasenverschiebung zwischen Ein- und Ausgangssignal erkennbar?

Bei welcher Frequenz beträgt die Phasenvers. 45 Grad ?

Bei welcher Frequenz beträgt die Amplitude nur mehr 70%

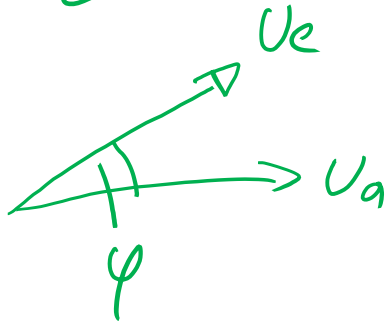


Phasenverschiebung

Grenzfrequenz:

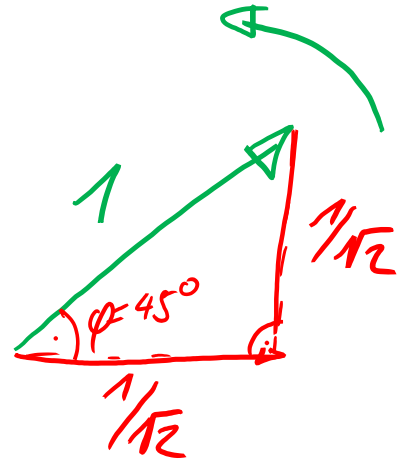
$$\sqrt{\varphi} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$\frac{U_a}{U_e} = \underline{\underline{0,707}} = \underline{\underline{\frac{1}{\sqrt{2}}}}$$

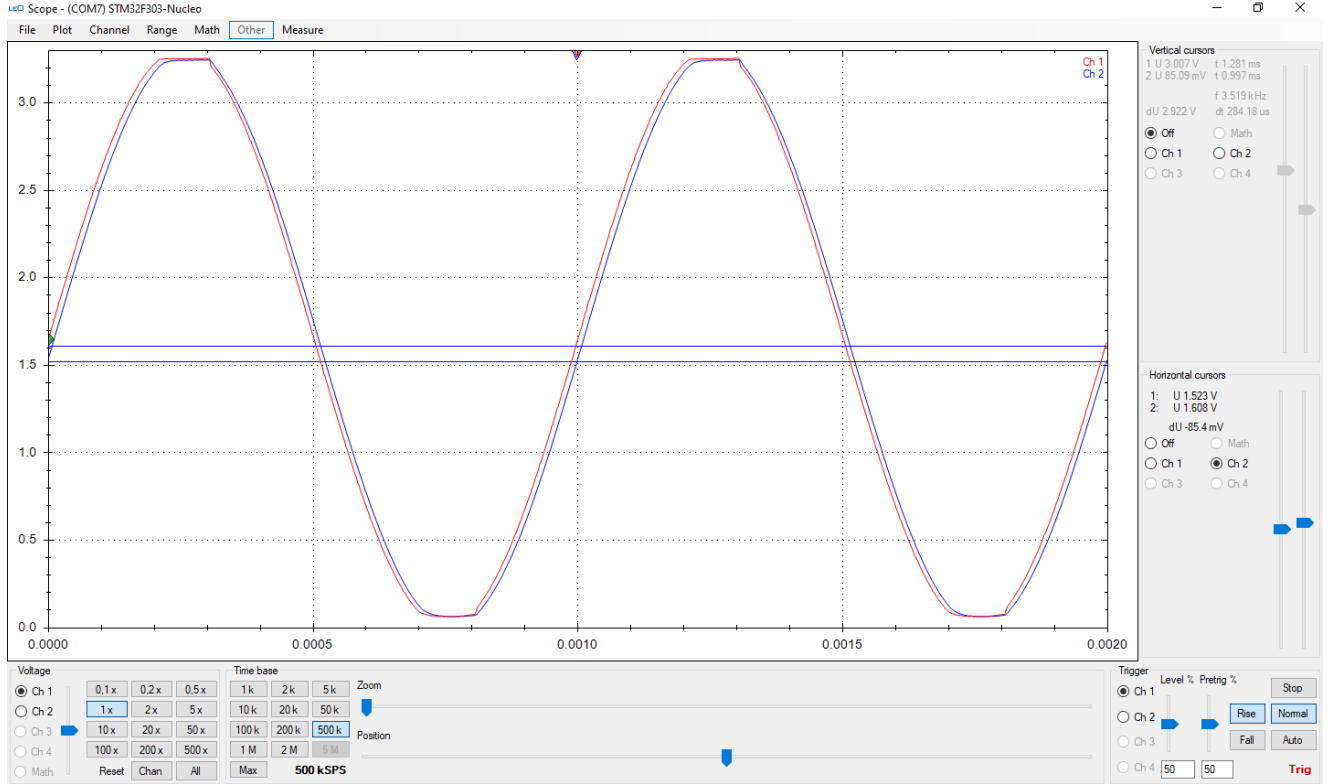


Phasenverschiebung

45°

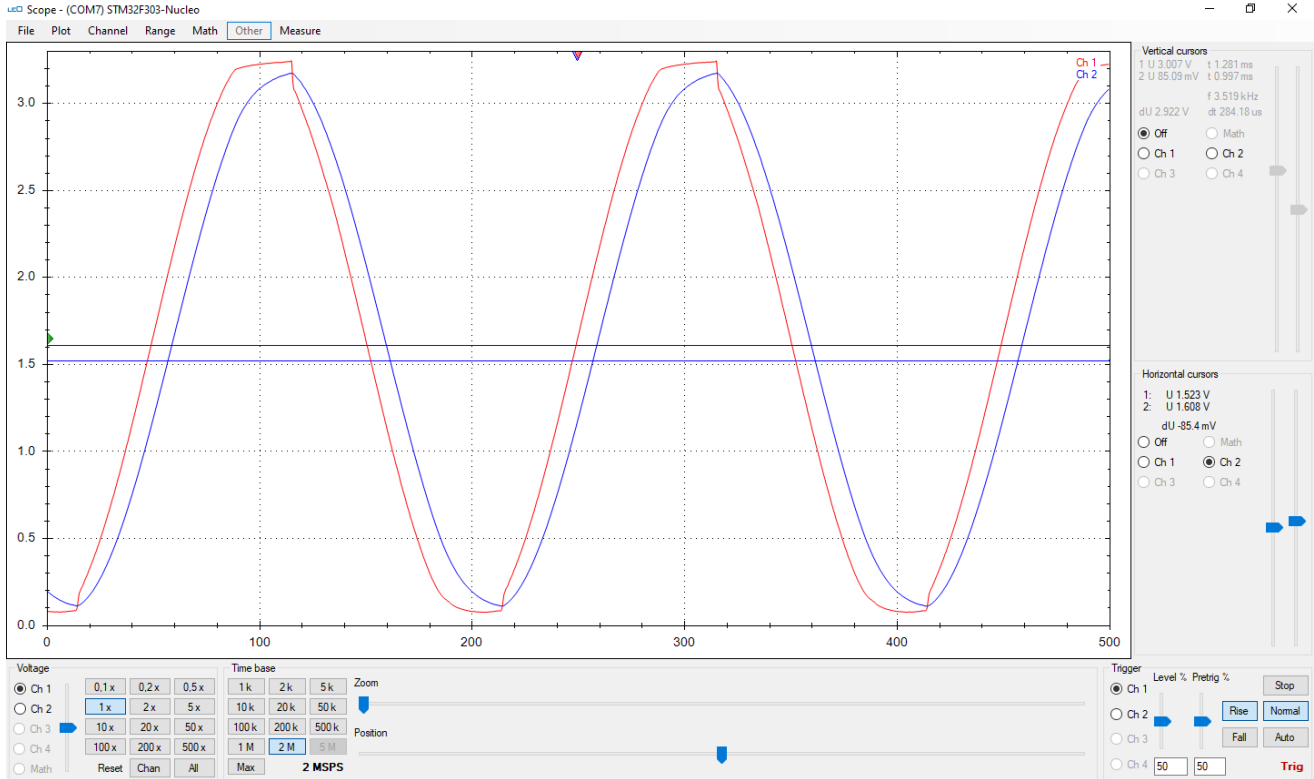


# RC – TP, 1kOhm, 10nF, Sinus 1kHz

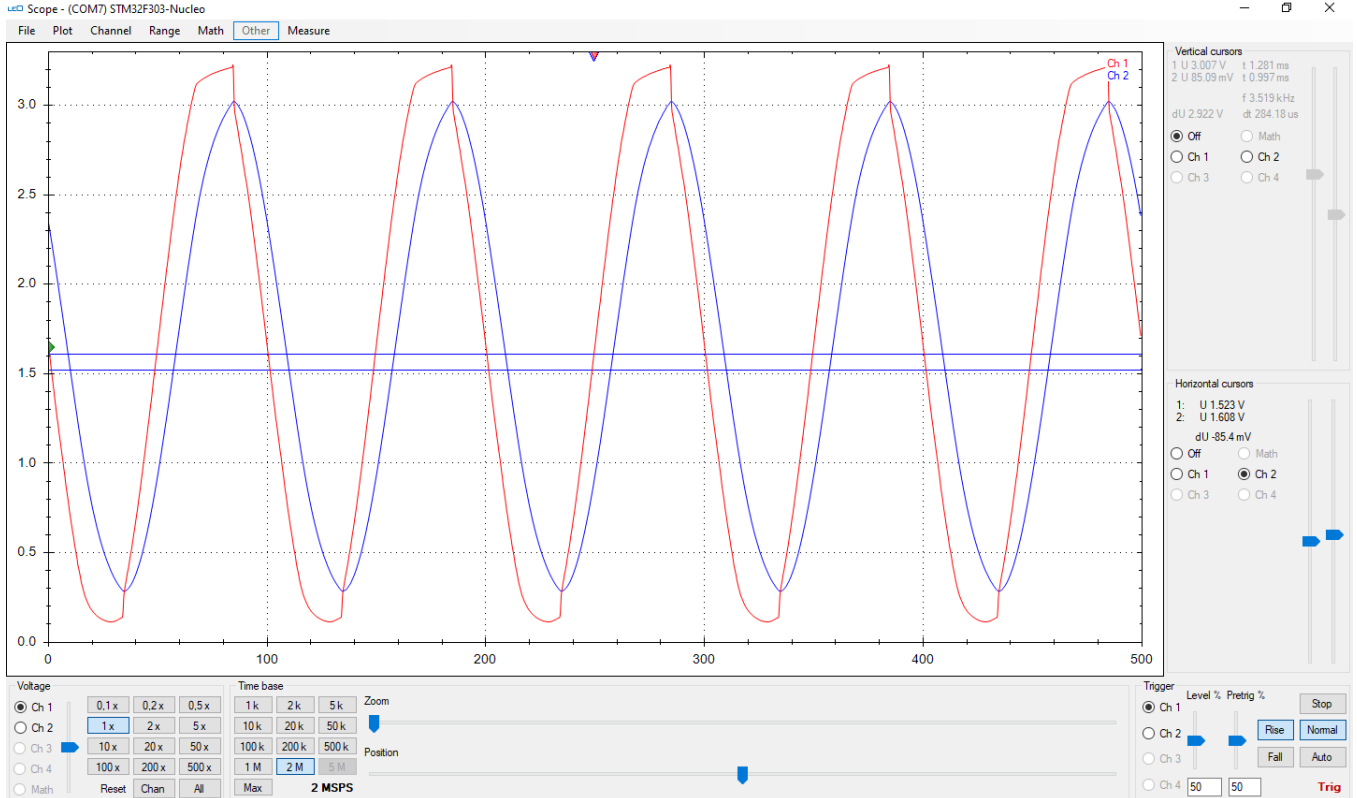




# RC – TP, 1kOhm, 10nF, Sinus 5kHz

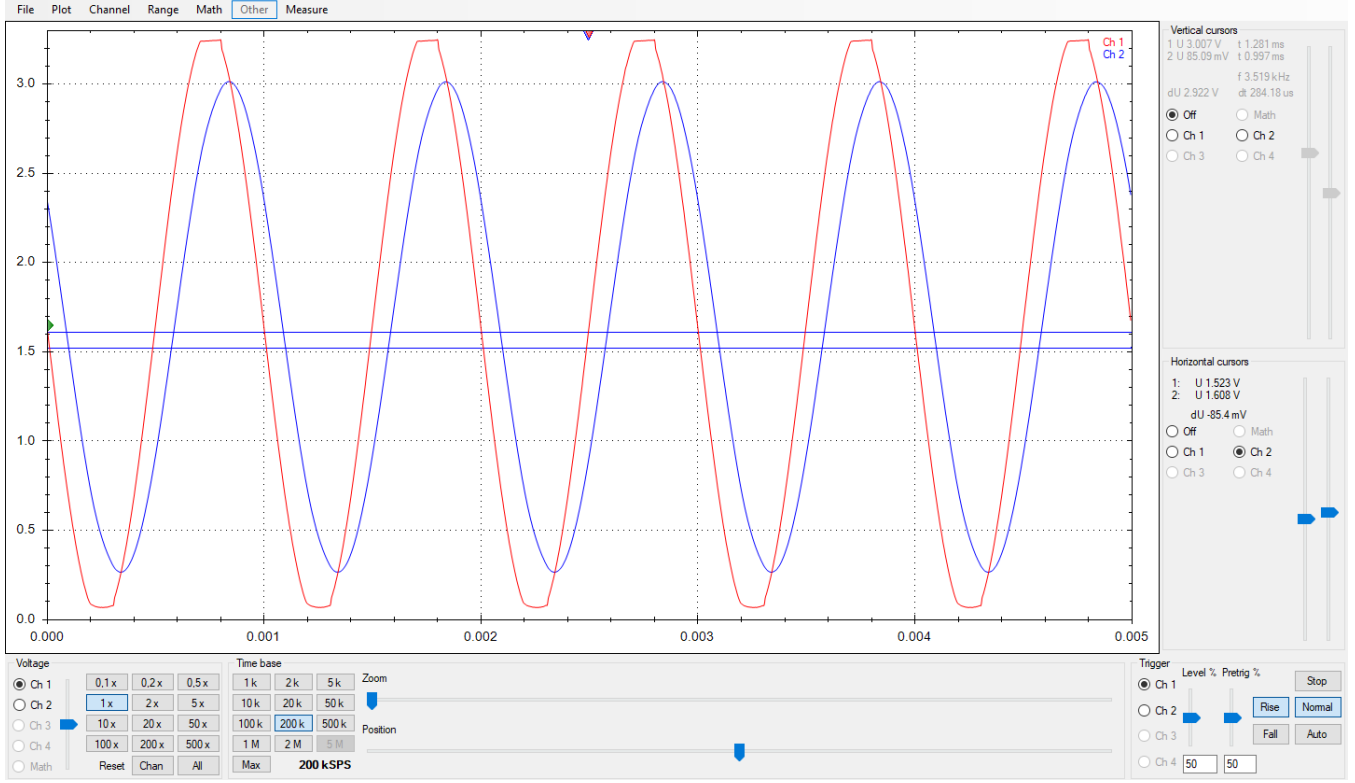


# RC – TP, 1kOhm, 10nF, Sinus 10kHz

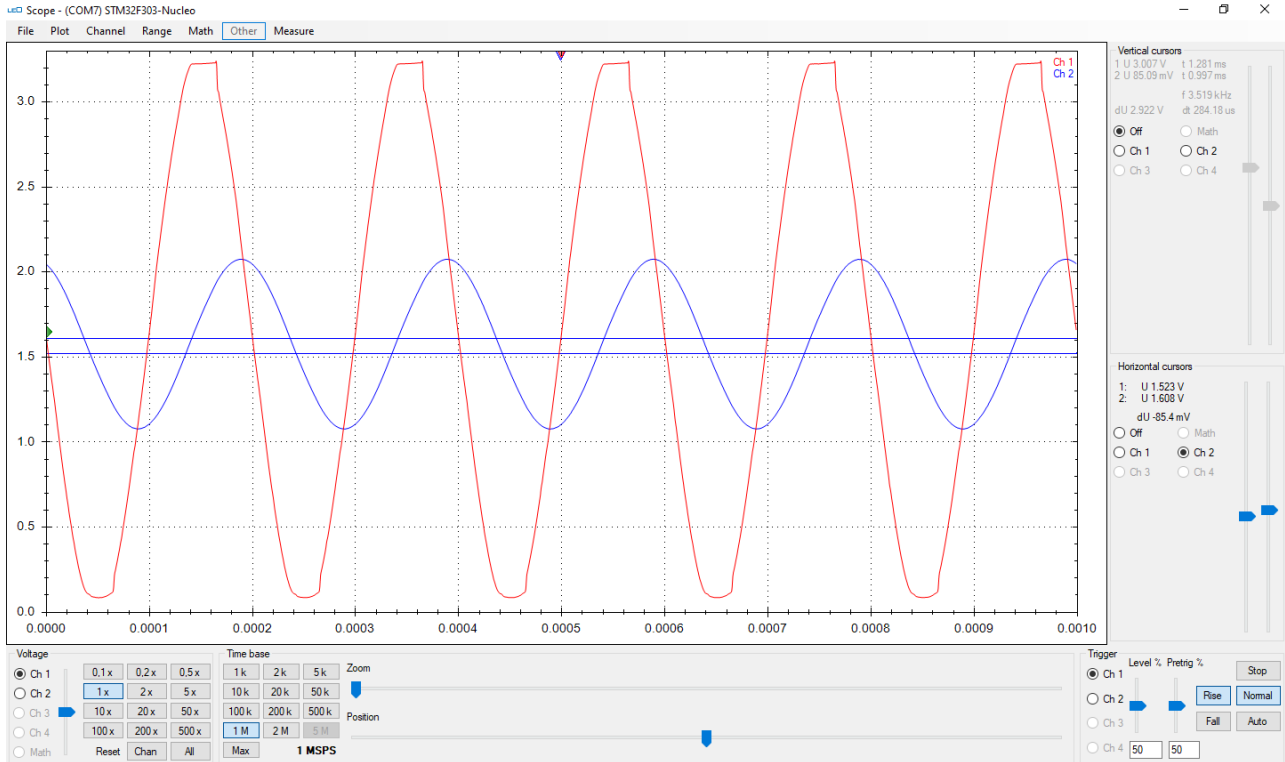


# RC – TP, 10kOhm, 10nF, Sinus 1kHz

LED Scope - (COM7) STM32F303-Nucleo



# RC – TP, 10kOhm, 10nF, Sinus 5kHz





Dabei wird vorausgesetzt, dass die Quellimpedanz von  $U_e$  Null beträgt und die Lastimpedanz bei  $U_a$  unendlich hoch ist.

Einer sprunghaften Änderung der Eingangsspannung  $U_e$  folgt die Ausgangsspannung  $U_a$  um dieselbe Sprunghöhe, aber verzögert im Verlauf einer **Exponentialfunktion** mit einer **Zeitkonstante**  $\tau = RC$ .

Einer sinusförmigen Eingangsspannung mit der Frequenz  $f$  folgt am Ausgang wegen der linear anzunehmenden Eigenschaften der Bauelemente wieder eine sinusförmige, aber gemäß der **Spannungsteilerregel** frequenzabhängig abgeschwächte Spannung

$$U_a = U_e \cdot \frac{|X_C|}{\sqrt{R^2 + X_C^2}} = \frac{U_e}{\sqrt{1 + (\omega CR)^2}}$$

wobei  $U_a$  und  $U_e$  die Beträge der Aus- bzw. Eingangsspannung bezeichnen,  $|X_C| = \frac{1}{\omega C}$  den Betrag des **Blindwiderstands** des Kondensators und  $\omega = 2\pi f$  die **Kreisfrequenz**.

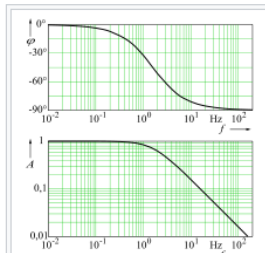
In logarithmischer Darstellung über der Frequenz (Bode-Diagramm) hat das Teilungsverhältnis zwei **Asymptoten**. Es geht bei niedrigen Frequenzen gegen 1 und für Gleichspannung (Frequenz  $f = 0$ ) wird  $U_a = U_e$ . Zu hohen Frequenzen nimmt es mit 6 dB/Oktave bzw. 20 dB/Dekade ab. Unter der **Grenzfrequenz**  $f_c$  (cutoff frequency) versteht man diejenige Frequenz, bei der sich die Asymptoten schneiden. Hier ist

$$U_a = U_e / \sqrt{2} \approx U_e \cdot 0,707$$

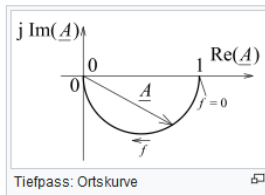
(d. h.  $U_a$  ist gegenüber  $U_e$  um 3 dB abgeschwächt). Die Grenzfrequenz beträgt  $f_c = \frac{1}{2\pi RC}$

Weicht die Frequenz um mehr als eine Zehnerpotenz von der Grenzfrequenz ab (nach oben oder unten), so kann die Kurve mit einer relativen **Abweichung** von weniger als 1/2 % durch die jeweilige Asymptote ersetzt werden.

Funktion der Zeit bei sprunghafter Änderung der Eingangsspannung



Frequenzgang eines passiven Tiefpasses 1. Ordnung bei sinusförmiger Eingangsspannung, dargestellt als Bode-Diagramm,  $A$  = Spannungsverhältnis  $U_a/U_e$ ,  $\varphi$  = Phasenverschiebungswinkel, bestimmt für  $RC = 0,1$  s



Tiefpass: Ortskurve

$20 \log \left( \frac{U_a}{U_e} \right)$  als Fkt. der Frequenz

$$\frac{U_a}{U_e}$$

$$20 \cdot \log \left( \frac{U_a}{U_e} \right)$$

1:1

0

1:10

-20

1:100

-40

} Dämpfung

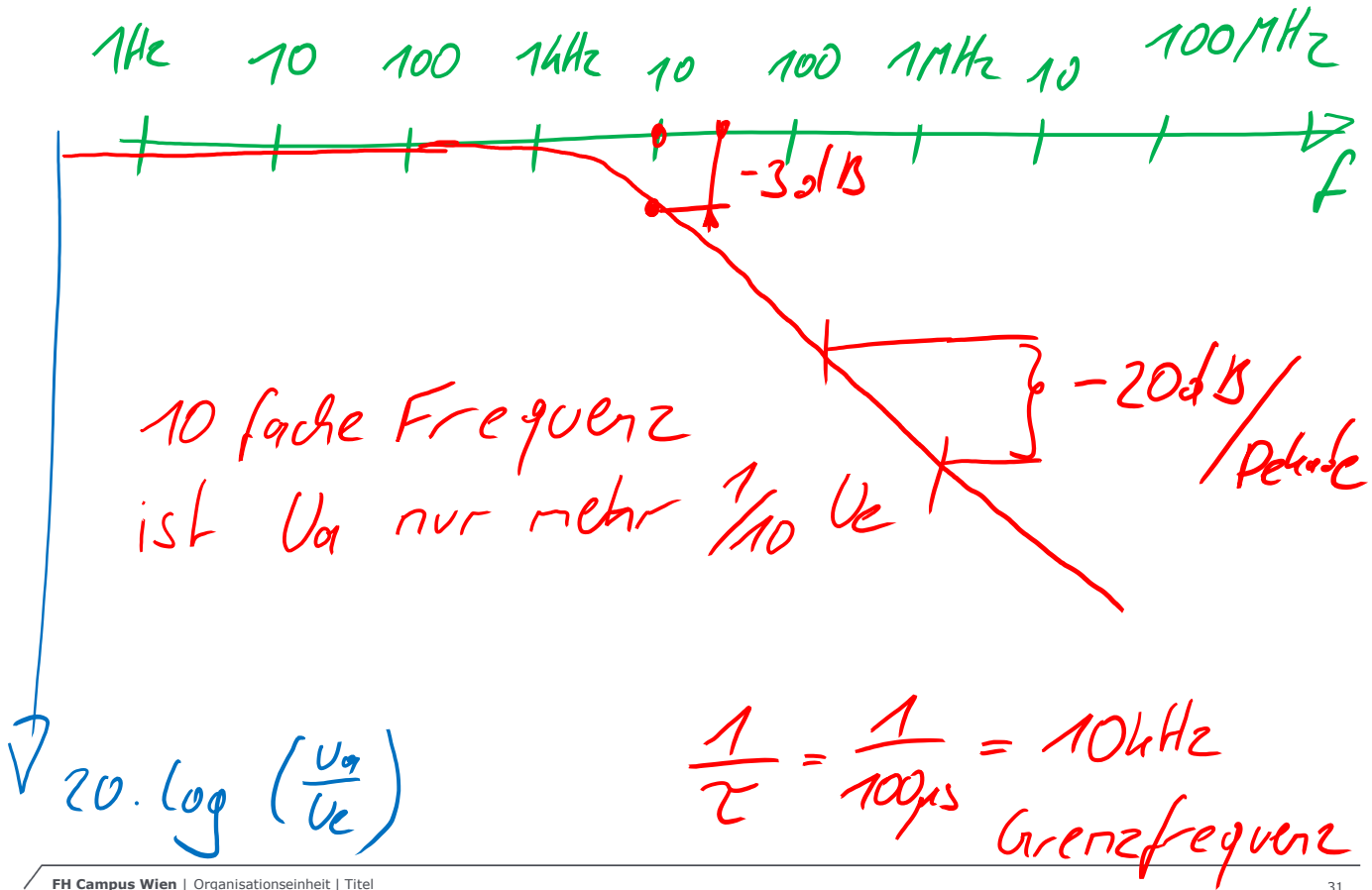
10:1

+20

100:1

+40

} Verstärkung



rc tiefpass boden Tiefpässe als RC-Glied – Wikip Tiefpassfilter - Pa Grenzfrequenz, RL Tiefpass – Wikip

https://www.elektroniktutor.de/analogtechnik/tiefpass.html

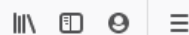
Elektroniktutor Startseite R,L,C-Schaltungen an Gleichspannung R,L,C-Schaltungen an Wechselspannung Netzteil-schaltungen zur U-/I-Versorgung Suchwort oder Wortteil Suchen

Bei der Darstellung des Amplituden-Frequenzgangs wird anstelle des Spannungsverhältnisses oftmals das Pegelmaß verwendet. Ausreichend entfernt oberhalb der Grenzfrequenz ist dann der Kurvenverlauf im Sperrbereich linear fallend. Das Dämpfungsmaß errechnet sich aus der Steigung. Der charakteristische Wert für einen passiven Tiefpass 1. Ordnung beträgt 6 dB bei Frequenzverdoppelung entsprechend einer Oktave. Wird der Wert bei zehnfacher Frequenz angegeben, so beträgt das Dämpfungsmaß 20 dB pro Dekade.

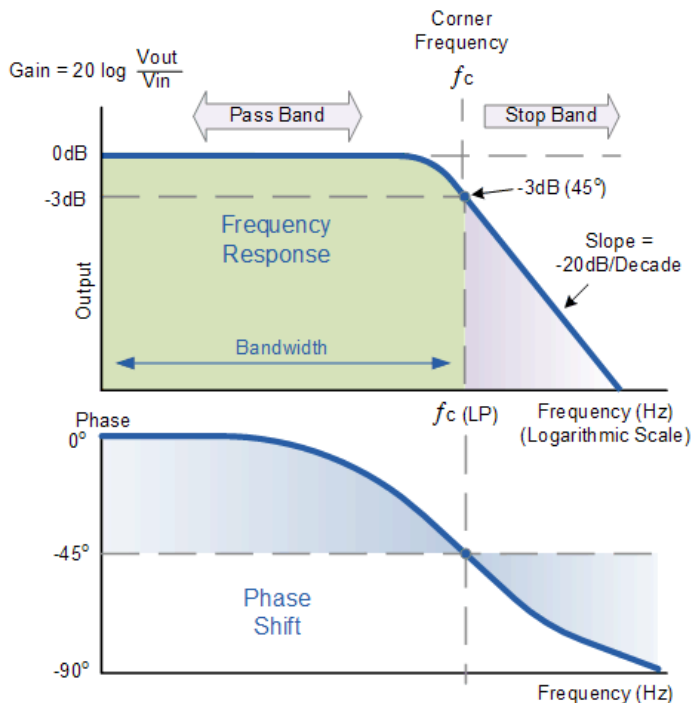
Dämpfungsmass: 6 dB / Oktave 20 dB / Dekade

Beim RC-Tiefpass wird die Ausgangsspannung am Kondensator abgegriffen.  
 Beim RL-Tiefpass wird die Ausgangsspannung am Widerstand abgegriffen.  
 Eingangssignale mit tiefen Frequenzen durchlaufen die Schaltung fast ungehindert.  
 Mit steigender Eingangsfrequenz wird die Ausgangsamplitude stetig kleiner.  
 Bei der Grenzfrequenz  $f_g$  gilt  $U_a = 0,707 \cdot U_e$ . Die Dämpfung beträgt 3 dB.  
 Bei  $f_g$  ist das Ausgangssignal um  $\varphi = -45^\circ$  zum Eingangssignal phasenverschoben.  
 Bei  $f \gg f_g$  beträgt die Dämpfung 6 dB/Oktave das entspricht 20 dB/Dekade.





## Frequenzgang eines Tiefpassfilters 1. Ordnung



# GPIO – STM32 – Examples STCubeMX

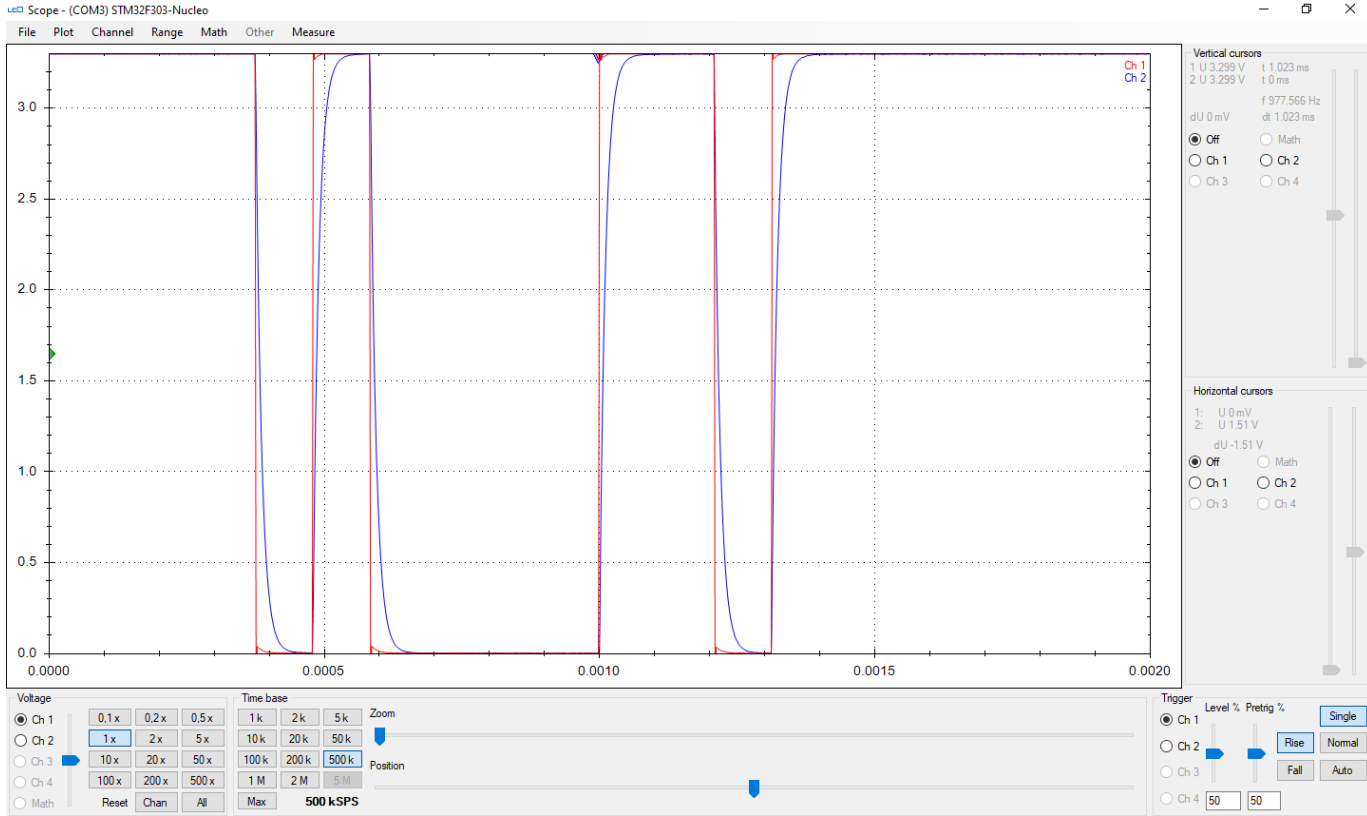
Verwenden Sie einen RC-Tiefpass mit den Werten:  
 $R=1k\Omega$  ,  $C=10nF$

Senden Sie über die USART  
Jede Millisekunde ein "a" – 0x61  
mit einer Baudrate von 9600 Baud

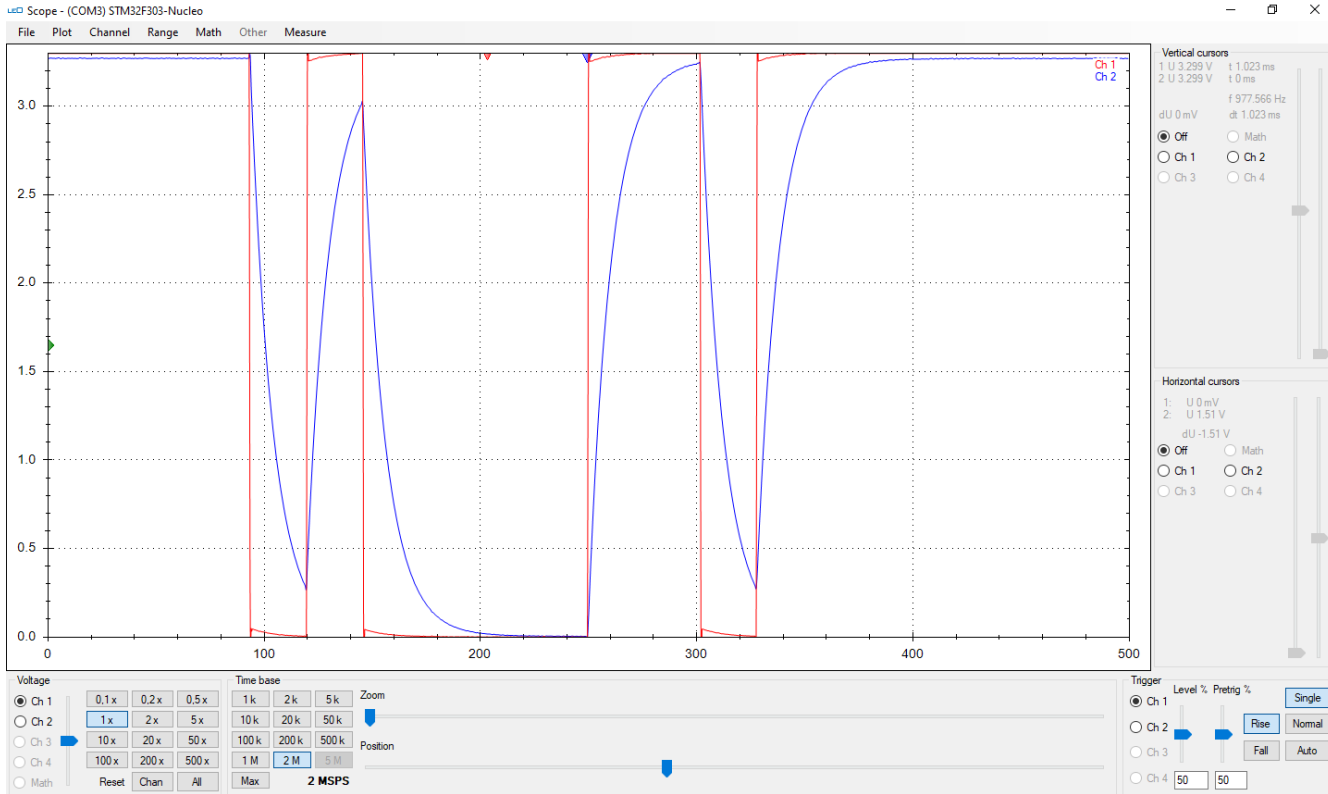
Messen Sie mit dem LEO die Eingangs- und die  
Ausgangsspannung.

Wiederholen Sie die Messungen mit  
einer Baudrate von 38400 und 57600 Baud

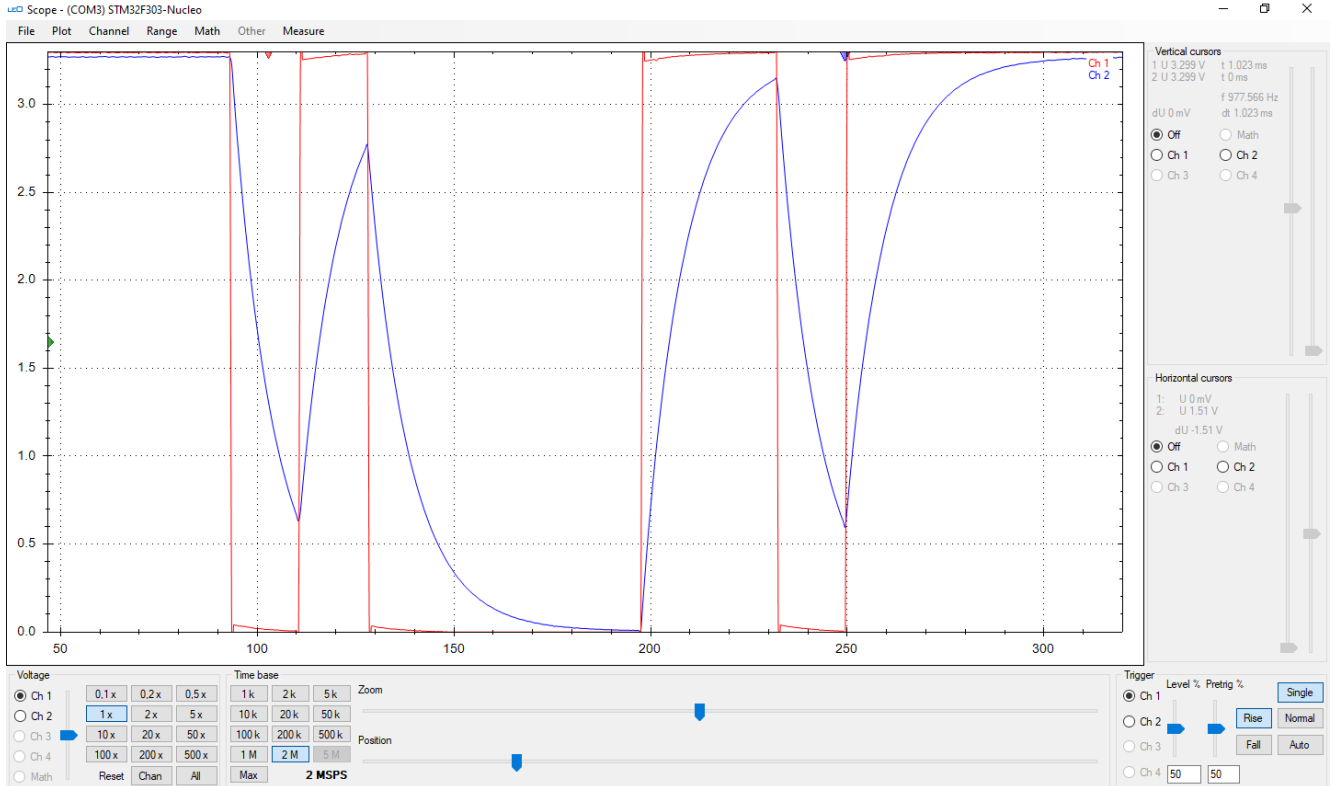
# USART 9600baud – R=1k, C=10nF

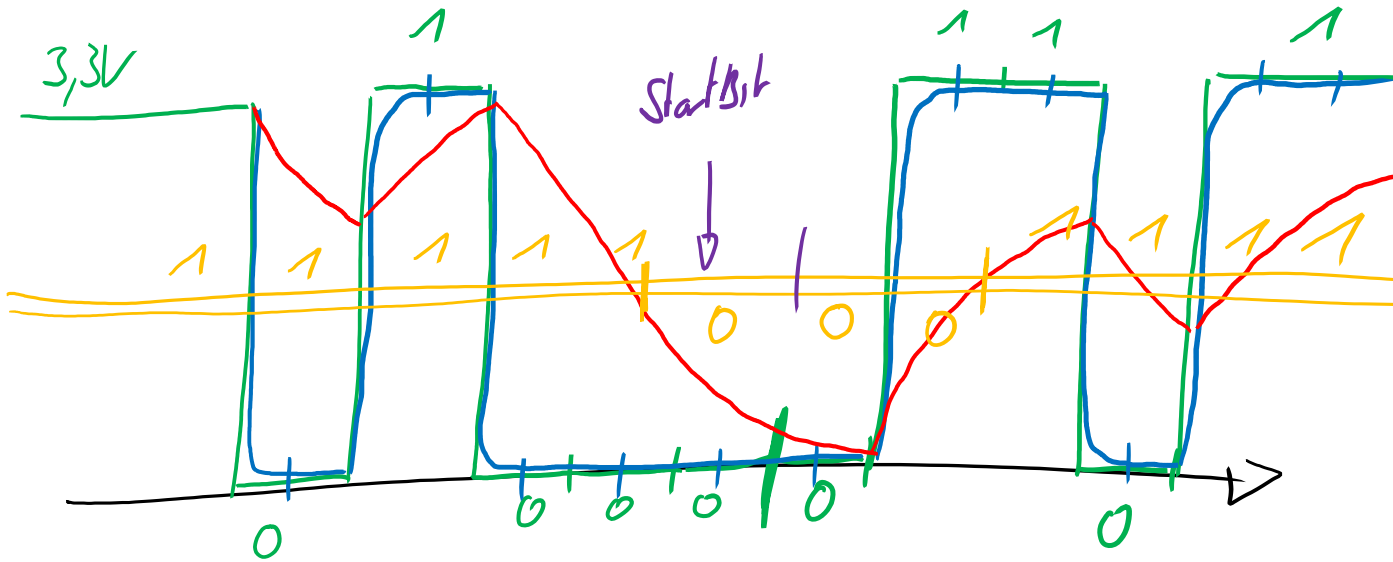


# USART 38400baud – R=1k, C=10nF



# USART 57600baud – R=1k, C=10nF





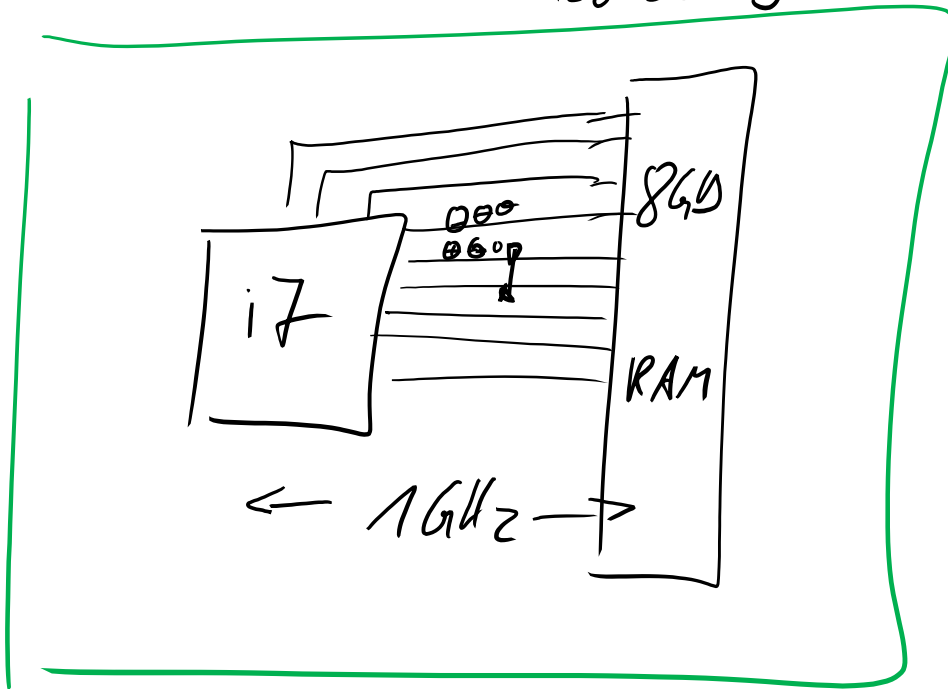
Start Bit

F C  
1111 / 1100

UART

"a" → 0x61

128 Leistungen





**RC-Tiefpass**