

# Versuch OSZ

## Schaltungsanalyse mittels Oszilloskop, Kenngrößen, Anstiegszeiten

Die mit "schriftlich" bezeichneten Teile der Vorbereitung (Abschnitt 2) handschriftlich ausarbeiten und in AULIS hochladen.

Am Versuchstag sind mitzubringen:

- Eine ausgedruckte Version dieser Versuchsanleitung,
- Protokoll-Deckblatt und evtl. vorbereitete Blätter zum Protokollieren der Messungen.

Beim Protokollieren des Versuchsaufbaus und der Messschaltungen dürfen ergänzend Fotos gemacht werden.

## 1 Versuchsziel

- Erfahrungen im Umgang mit modernen Oszilloskopen;
- Verständnis einfacher analoger Schaltungen (Spannungsquelle, Spannungsteiler, Tiefpass) und Ermittlung von Kenngrößen und Bauteilwerten;
- Protokollieren messtechnischer Experimente, Digitale Messdatenerfassung, Datenspeicherung und -auswertung, Parameterbestimmung durch Ausgleichskurven.

## 2 Vorbereitung

- ✓ 1.) **Grundlagen Elektrotechnik** (auch Labor) auffrischen!

Schriftlich: In welchen Einheiten werden die **Bauteilwerte eines RC-Gliedes** angegeben? Wie lassen sich diese in den Einheiten Ampere, Volt und Sekunde angeben? Kontrollieren Sie, ob die Gleichung für die Zeitkonstante des RC-Gliedes auch von den Einheiten her stimmig ist.

- 2.) Für die **Grenzfrequenz** – beim Oszilloskop: "**Bandbreite**" – gilt folgende Definition:

Die Grenzfrequenz eines frequenzabhängigen Übertragungssystems ist die Frequenz, bei der die Verstärkung auf das  $\frac{1}{\sqrt{2}}$ -fache des Maximalwertes abgesunken ist.

Schriftlich:

- a) Leiten Sie den Frequenzgang  $G(j\omega)$  des RC-Tiefpasses (Seite 4) aus der komplexen Spannungsteilerregel her.

- b) Leiten Sie hieraus und aus der obigen Definition der Grenzfrequenz die Formel für die Grenzfrequenz des Tiefpasses  $f_g = \frac{1}{2\pi RC}$  her. (Andere Herleitungswege werden nicht akzeptiert.)
- c) Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Grenzfrequenz und der Anstiegszeit  $T_{10/90}$  (vergl. Anhang A)? Wie lautet die Herleitung für die fallende Flanke?
- 3.) Recherche zur **Funktion eines Tastkopfes** (Anhang B oder sonstige Literatur)  
Schriftlich: Die Lastimpedanz  $Z_L$  ohne Tastkopf (Gleichung S. 8, Mitte) herleiten!  
 Der Tastkopf schwächt das zu messende Signal, meist um den Faktor  $\frac{1}{10}$ .  
 Welcher Vorteil steht diesem Nachteil gegenüber?

### 3 Experimente mit Labor-Oszilloskop

#### 3.1 Geräte, Software, Materialien

##### 3.1.1 Übersicht

Für den Laborversuch steht ein Oszilloskop mit 2 Tastköpfen zur Verfügung, außerdem eine Box mit Signalgenerator, eine Platine mit 1 kΩ Widerstand und Schraubklemme mit Kondensator, ein Multimeter, BNC-Kabel, Federklemmen.

##### 3.1.2 Bedienung des Oszilloskops

Das verwendete Oszilloskop ist via USB mit dem Labor-PC verbunden. Dies nutzen wir ausschließlich zum Speichern von Bildern und Messreihen, nicht zum Bedienen vom PC aus!

Start:

- Software "Keysight Benchvue" starten;
- wenn das Oszilloskop nicht automatisch erkannt wird, im Menü (unten rechts) die IO Libraries starten; jetzt sollte das Oszilloskop in der Geräteleiste erscheinen;
- Doppelklick auf das DSO-X 2024A --> Verbindung wird hergestellt, Oszilloskopschirm erscheint am PC, Vollbilddarstellung wählen;

Abspeichern des aktuellen Oszilloskopbildes:

- Signal am Oszilloskop triggern (siehe auch Quick\_Oszilloskop\_DSO2024A.pdf);
- am PC im Tab "Bildschirmabbild" (unter "Einstellungen") die Option "Farben invertieren" und evtl. auch "Schwarz-Weiß konvertieren" auswählen;
- unten rechts Diskettensymbol auswählen und Abbild speichern (als PNG, JPEG, oder BMP).

#### 3.2 Einarbeiten in die Bedienung des Oszilloskops, Tastkopfabgleich (30 Min.)

Zum Labor-Oszilloskop gehören zwei Tastköpfe. Die weiteren Messungen werden mit diesen Tastköpfen durchgeführt. Notieren Sie deren Verstärkung (genauer: Dämpfung).

##### Tastkopfabgleich

Eine Anleitung finden Sie am Laborplatz (Quick\_Oszilloskop\_DSO2024A.pdf). Die Tastköpfe nehmen dabei das Signal eines speziellen Prüfausgangs am Oszilloskop auf.

Das dazu bereitgestellte Video-Tutorial dient ausschließlich der Vorbereitung und wird **nicht** vor Ort verwendet. Protokollieren Sie Ihr Vorgehen und was das Oszilloskop vorher und nachher zeigt. Bilder speichern. Aussagekräftige Dateinamen (mit Kapitelnummer) vergeben.

### 3.3 Rechtecksignale gibt es nicht (35 Min.)

Ziel: Die Anstiegszeit des TTL-Signals des Signalgenerators der BNC-2120-Box bestimmen.

Das Rechtecksignal am Anschlusskabel (Federklemmen) abgreifen und oszilloskopieren ("Run/Stop"-Modus). Geeignete Trigger- und Zeitbasis-Einstellungen automatisch ermitteln durch "Auto Scale" (Taste "10" rechts oben).

Messung "Frequenz" auswählen (Taste "12"), so dass rechts im Oszilloskop-Bildschirm die aktuelle Frequenz des Signals eingeblendet wird. Frequenz mittels Schiebeschalter und Potentiometer an der Box auf ca. 100 kHz einstellen.

Oszilloskopeinstellungen so verändern, dass etwas mehr als eine Periode dargestellt wird ("7", Horizontalsteuerelemente). Protokollieren: Zeitbasis, gemessene Frequenz, etc.

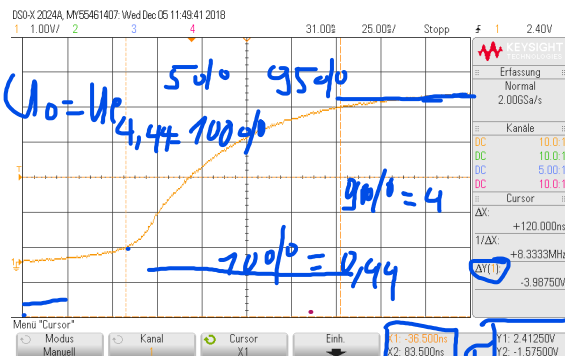
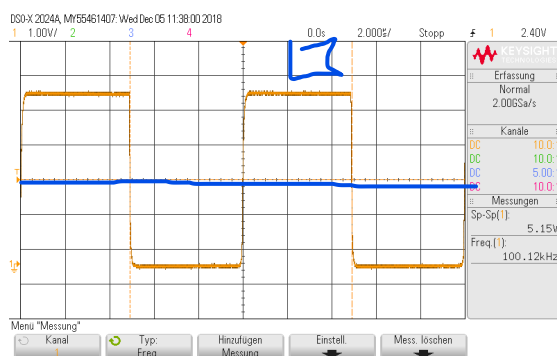
Bild speichern. Zeigt diese Darstellung erkennbare Abweichungen vom idealen Verlauf?

Umstellen auf "Single"-Modus. Unterschied im Protokoll notieren. Bild speichern.

### Anstiegszeit ermitteln

Messbereich auf 1 V/div einstellen. Rechtecksignal mit "16" ("Vertikalsteuerelemente") so verschieben, dass es symmetrisch zur Mittellinie liegt. Die jeweils zweiten Rasterlinien unter und über der Mittellinie markieren dann das 10%- und 90%-Niveau. Horizontal-Cursorlinien werden deshalb hier nicht benötigt (siehe Abbildung).

Horizontalsteuerelemente ("7") benutzen, um die ansteigende Flanke gut darzustellen, Cursor einblenden ("12"), Vertikalcursorlinien auf die Schnittpunkte des Rechtecksignals mit den Rasterlinien des 10%- und 90%-Niveaus verschieben. Bild speichern.

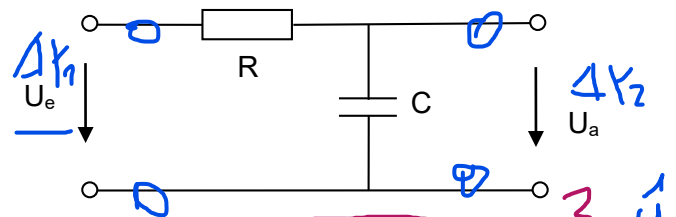


Zeiten des unteren und des oberen Schnittpunkts ablesen, Unsicherheiten angeben (die Angaben müssen nachvollziehbar sein, also ggf. im Protokoll kurz erläutern, wie Sie z. B. die Unsicherheit der Cursorpositionierung bestimmen).

Zusätzlich die Oszilloskop-Messung  $\Delta x$  notieren.

### 3.4 Zeitbereichsverhalten eines RC-Gliedes, Bauteilwerte

Untersucht wird die nebenstehende RC-Filterschaltung mit  $R = 1\text{ k}\Omega$  und einem Kondensator mit der Kapazität  $C$ . Sie finden die Schaltung auf einer Platine aufgebaut vor.



#### 3.4.1 Widerstandsmessung (5 Min.)

Führen sie an dem bereitgestellten Multimeter "Gossen Metrahit" einen "Zero"-Abgleich für die Widerstandsmessung durch. Messen Sie den in der Schaltung verbauten Widerstand. Notieren Sie auch die entsprechende Datenblattangabe zur Messunsicherheit.

#### 3.4.2 Speisung durch BNC-2120-Rechtecksignal (30 Min.)

Wie in 3.3 das TTL-Signal der BNC-Box am Oszilloskop darstellen, die Frequenz auf ca. 2 kHz einstellen und mit "7" ("Horizontalsteuerelemente"), auf etwas mehr als eine Periode einzoomen. Bild speichern.

Das Signal dann an den Eingang der Schaltung anlegen und wieder am Oszilloskop darstellen. Notieren Sie die Veränderung des Signalverlaufs und insbesondere die anfängliche Sprunghöhe der ansteigenden Flanke. Bild speichern.

#### Anstiegszeit des RC-Gliedes ermitteln:

Fügen Sie über Kanal 2 das Ausgangssignal der Schaltung hinzu.

Ermitteln Sie mit ähnlicher Vorgehensweise wie in 3.3 die Anstiegszeit der Kondensatorspannung. Bild speichern.

#### 3.4.3 Speisung durch den Signalgenerator des Oszilloskops (30 Min.)

Aktivieren und Konfigurieren Sie den Signalausgang des Oszilloskops wie folgt:

Wave Gen (neben "4" Eingabedrehknopf)

Softkeys:

- Wellenform Rechteck
- Frequenz 2000 Hz
- Amplitude 5V
- Offset 2,5 V
- Arbeitszyklus 50%

Anschließend die Speisung der RC-Schaltung von der BNC-Box zum Oszilloskop umstecken. "Single" Messung auslösen.

Notieren, welche Änderung des Eingangssignals sich gegenüber 3.4.2 ergibt.

Anstiegszeit der Kondensatorspannung bestimmen (wie oben). Bild speichern.

#### Messreihe speichern ("Trace"-Daten):

- am PC im Tab "Trace-Daten", unter "Einstellungen", Kanal/Kanäle auswählen;
- unten rechts "Export" wählen und Daten im MATLAB-Format abspeichern. Dabei alle Aufnahmeoptionen (Datum, Zeit oder Zahl) abwählen. Dateiname etwa "messung\_3\_4\_3.mat", keine Leerzeichen oder "-" im Namen!

Zur Kontrolle die Datei vor Ort mit MATLAB aufrufen und Inhalt auf Plausibilität kontrollieren.

## 4 Ausarbeitung (Abgabetermin: 14 Tage nach dem Versuch)

Die Ausarbeitung soll mit Textverarbeitung erstellt und als PDF-Datei in AULIS hochgeladen werden.

Fassen Sie sich kurz! Einfaches Deckblatt mit den üblichen Angaben. Keine umfangreichen Einleitungen, Erörterungen oder Ausschmückungen. Wegen der Kürze kann auch auf Inhalts-, Abbildungs- und Tabellenverzeichnisse verzichtet werden. Im Übrigen können Sie sich bzgl. formaler Dinge (Formatierung, Quellenverweise etc.) an dem Musterbericht "*Laborbericht-Beispiel\_Temperaturmessung.pdf*" orientieren.

Das Vor-Ort verfasste Protokoll scannen oder mit guter Aufnahmequalität fotografieren und als Anhang in die PDF-Datei einfügen. Diese darf maximal 4 MB groß sein. Reduzieren Sie also bei Scans und Fotos gegebenenfalls die Auflösung.

### 4.1 Messaufbau

Kurze Übersicht über die verwendeten Geräte und Schaltungen, ggf. mit Fotos.

### 4.2 Zu Abschnitt 3.3 "Anstiegszeit ermitteln"

Die Anstiegszeit und ihre Unsicherheit aus den Messwerten des unteren und des oberen Schnittpunkts bestimmen.

Welche Abweichung vom Oszilloskop-Messwert " $\Delta x$ " erhalten Sie?

Finden Sie in den Daten des Oszilloskops eine Angabe über dessen Anstiegszeit. Welcher Zusammenhang besteht zur "Bandbreite" 200 MHz des Oszilloskops (vergl. Anhang A)?

Lässt sich damit entscheiden, ob die nichtidealen Flanken durch den Signalgenerator verursacht werden, oder ob das Oszilloskop evtl. so steile Flanken nicht korrekt darstellen kann?

### 4.3 Zu Abschnitt 3.4.1 "Widerstand"

Den Messwert des Widerstands mit Unsicherheit (absolut und relativ) angeben.

### 4.4 Zu Abschnitt 3.4.2 "Speisung durch BNC-Box"

#### 4.4.1 Nichtideale Spannungsquelle

Ermitteln Sie die Ursache für die Abweichung der Eingangsspannung von der Rechteckform. Gehen Sie dazu von einem Ersatzschaltbild der Schaltung aus, in dem Sie den Signalgenerator als nichtideale Spannungsquelle darstellen. Welche Werte ergeben sich für die Parameter dieser Spannungsquelle aus dem ermittelten Verlauf, insbesondere aus der Anfangs-Sprunghöhe?

Hinweis: Zum Zeitpunkt des Sprungs ist die Kondensatorspannung gleich 0, was einem kurzgeschlossenen Ausgang der Schaltung entspricht.

#### 4.4.2 Anstiegszeit und Bestimmung der Kapazität des Kondensators

Anstiegszeit incl. Unsicherheit aus den Messwerten des unteren und des oberen Schnittpunkts bestimmen.

Welche Kapazität des Kondensators ergibt sich aus dem Widerstand und der gemessenen Anstiegszeit? (vergl. Anhang A und Vorbereitungsaufgaben 1 und 2)

Führen Sie die Fehlerfortpflanzungsrechnung mit den Unsicherheiten der an dieser Berechnung beteiligten Größen aus. Wie groß ist die Messunsicherheit der berechneten Kapazität?

Die Nichtidealität der Spannungsquelle verursacht eine systematische Abweichung des berechneten Wertes der Kapazität. Diese Abweichung lässt sich mit den Ergebnissen aus 4.4.1 bestimmen. Wie lautet der korrigierte Wert der Kapazität?

#### **4.5    Zu Abschnitt 3.4.3**

##### **4.5.1    Anstiegszeit und Kapazität bei Speisung aus dem Oszilloskop**

Anstiegszeit incl. Unsicherheit aus den Messwerten des unteren und des oberen Schnittpunkts bestimmen.

Wie in 4.4.2 die Kapazität des Kondensators und ihre Unsicherheit bestimmen.

Auf die Bestimmung und Korrektur des systematischen Fehlers kann verzichtet werden.

##### **4.5.2    Auswertung mit MATLAB, Least-Squares-Parameteridentifikation**

Die gespeicherte Messreihe ("Trace") in MATLAB mit `"load messung_3_4_3"` laden. Sie steht dann als Array in der Variablen `"Trace_1"` zur Verfügung.

Es empfiehlt sich, die einzelnen Messgrößen in separate Variablen zu übertragen, also

```
t = Trace_1(:,1); u1 = Trace_1(:,2); etc.
```

Für die ansteigende Flanke mit einer geeignet gewählten Ansatzfunktion eine Kurvenapproximation durchführen (siehe einführende MATLAB-Übungen, `lsqcurvefit`, `RCstep_lsqfit.m`).

Das Ergebnis grafisch darstellen, aus der Approximation die Zeitkonstante entnehmen und damit die Kapazität bestimmen.

Das verwendete MATLAB-Script als Anhang in die PDF-Datei einfügen.

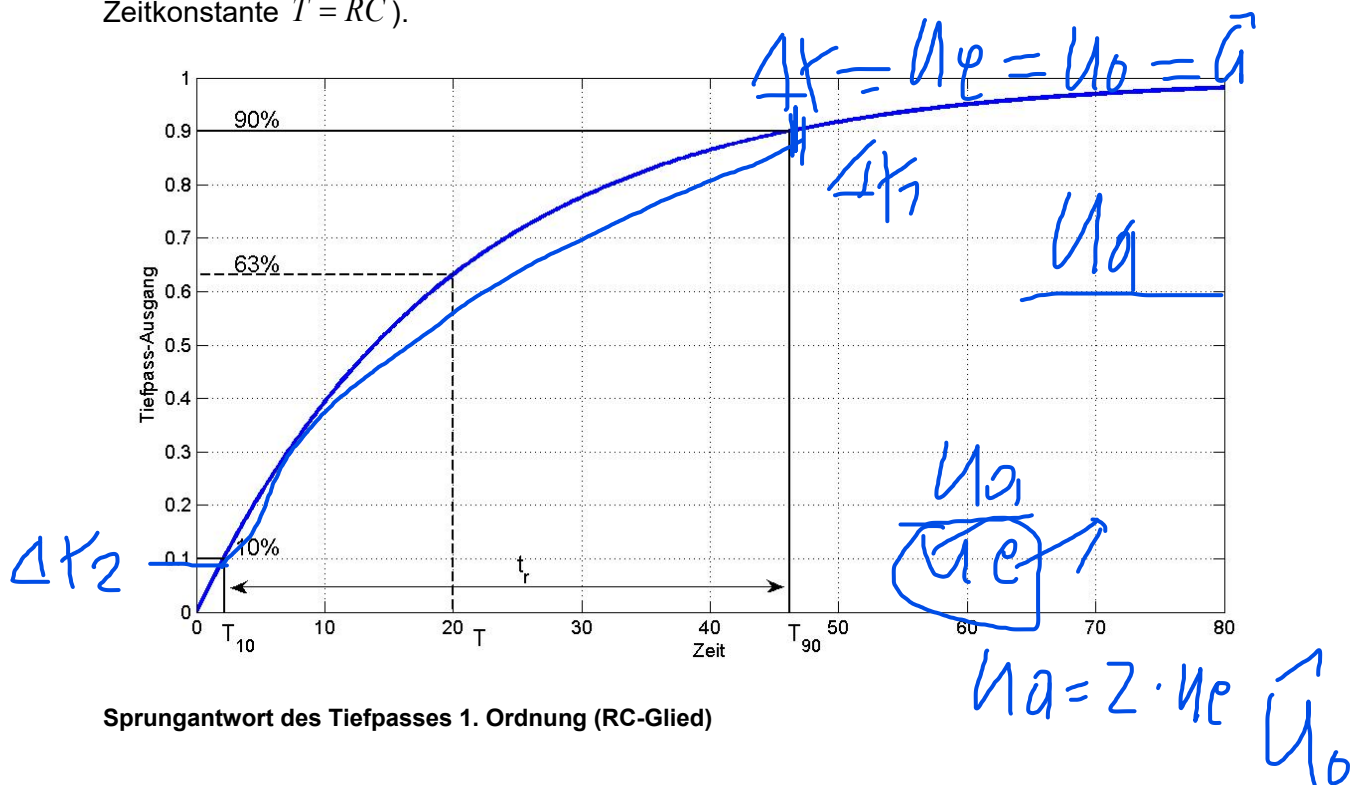
#### **4.6    Vergleichende Diskussion**

Diskutieren Sie **kurz** die erhaltenen Ergebnisse für die Kapazität des Kondensators, die Unterschiede und Unsicherheiten.

**Wenn Sie die Bearbeitung der Teilaufgaben innerhalb der Gruppe aufteilen, notieren Sie dabei bitte jeweils den Namen der Verfasserin/des Verfassers.**

## Anhang A: Grenzfrequenz aus der Anstiegszeit bestimmen

Bei Ansteuerung eines RC-Tiefpasses mit monopolaren Rechteckimpulsen entspricht die Anstiegsfunktion des Ausgangs der einer Kondensatoraufladung (Sättigungs-Funktion mit Zeitkonstante  $T = RC$ ).



Sprungantwort des Tiefpasses 1. Ordnung (RC-Glied)

Aus der Anstiegszeit  $t_r$  lässt sich die Grenzfrequenz  $f_g$  wie folgt bestimmen:

$$u(t) = U_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right) \text{ bzw. in der Umkehrung: } t = -T \cdot \ln\left(1 - \frac{u(t)}{U_0}\right)$$

Somit:

$$t_{90} = -T \ln\left(1 - \frac{0,9U_0}{U_0}\right) = -T \ln(0,1) = T \cdot \ln(10)$$

$$t_{10} = -T \ln\left(1 - \frac{0,1U_0}{U_0}\right) = -T \ln(0,9) = T \cdot \ln\left(\frac{10}{9}\right)$$

$$t_r = t_{90} - t_{10} = T \ln(10) - T \ln\left(\frac{10}{9}\right) = T \ln 9$$

$$t_r \approx 2,2 \cdot T$$

bzw.

$$T \approx 0,455 \cdot t_r \text{ und } f_g = \frac{1}{2\pi T} \approx \frac{0,35}{t_r}$$

Aufgabe: Wie lautet diese Rechnung für die fallende Flanke ( $u(t) = U_0 \cdot e^{-\frac{t}{T}}$ )?

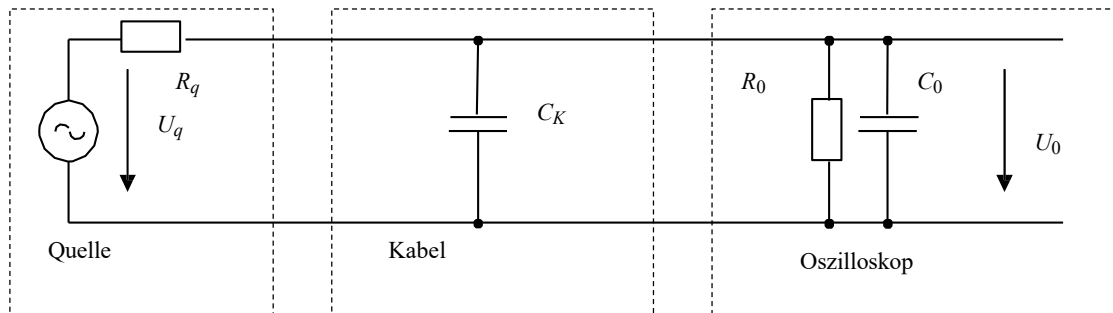
## Anhang B: Tastkopf

In [Thomas Mühl, *Einführung in die elektrische Messtechnik*, 4., aktualisierte und erweiterte Auflage, Wiesbaden, 2014], auch als E-Book zugänglich, werden in Kapitel 8.4 (S. 219 ff) Tastköpfe sehr ausführlich behandelt.

Die für die Zwecke dieses Labors relevanten Aspekte sind im Folgenden zusammengefasst.

### 1.) Anschluss eines Signals an den Oszilloskopeingang mit einfachem Kabel

In diesem Fall ergibt sich folgendes Ersatzschaltbild:



Der ohmsche Widerstand des Kabels ist hier nicht enthalten, da er gegenüber dem sehr hohen Eingangswiderstand  $R_0$  des Oszilloskops zu vernachlässigen ist. Die Kabelkapazität und die Eingangskapazität  $C_0$  des Oszilloskops führen zu einem Tiefpassverhalten dieser Messschaltung. Für die Impedanz, mit der die Quelle belastet wird, erhält man

$$Z_L = \frac{R_0}{1 + j\omega R_0(C_K + C_0)}$$

(Parallelschaltung der Kabelkapazität mit Oszilloskopeingangswiderstand und –kapazität).

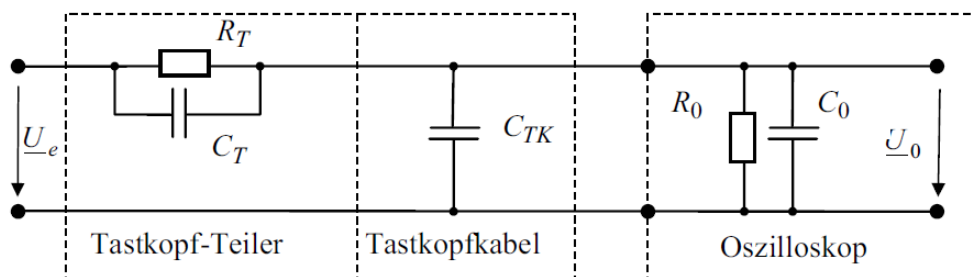
Diese bildet mit dem Innenwiderstand  $R_q$  der Quelle einen Spannungsteiler mit Tiefpasscharakteristik. Die Grenzfrequenz ergibt sich zu

$$f_g = \frac{1 + \frac{R_q}{R_0}}{2\pi R_q(C_K + C_0)} \approx \frac{1}{2\pi R_q C}$$

mit  $C = C_K + C_0$  und  $R_0 \gg R_q$ . Zweck des Einsatzes von Tastköpfen ist es, diese Grenzfrequenz zu erhöhen, um auch höherfrequente Signale unverfälscht darstellen zu können.

### 2.) Einsatz eines Tastkopfes

Ein (passiver) Tastkopf verfügt über eine RC-Parallelschaltung, deren Widerstand und/oder Kapazität verstellbar sind. Es ergibt sich folgendes Ersatzschaltbild:





Die Lastimpedanz ist dann

$$Z_L = \frac{R_T}{1 + j\omega R_T C_T} + \frac{R_0}{1 + j\omega R_0 C}$$

mit  $C = C_{TK} + C_0$ . Durch die Einstellung  $R_T = 9R_0$  und  $C_T = \frac{C}{9}$  ergibt sich  $R_T C_T = R_0 C$  und

$$Z_L = \frac{10R_0}{1 + j\omega R_0 C}.$$

Auch hier bildet diese Impedanz mit dem Innenwiderstand  $R_q$  der Quelle einen Spannungsteiler mit Tiefpasscharakteristik. Als Frequenzgang erhält man

$$\frac{\underline{U}_0}{\underline{U}_q} = \frac{\frac{R_0}{1 + j\omega R_0 C}}{R_q + \frac{10R_0}{1 + j\omega R_0 C}} = \frac{R_0}{R_q(1 + j\omega R_0 C) + 10R_0} = \frac{\frac{R_0}{R_q + 10R_0}}{1 + j\omega \frac{R_0 R_q C}{R_q + 10R_0}} \approx \frac{\frac{1}{10}}{1 + j\omega \frac{R_q C}{10}},$$

wobei im letzten Schritt der Innenwiderstand der Quelle gegenüber dem Innenwiderstand des Oszilloskops vernachlässigt wurde.

Somit schwächt der Tastkopf das Signal um den Faktor  $\frac{1}{10}$ . Dafür steigt gegenüber der Messung mit einfachem Kabel die Grenzfrequenz um den Faktor 10:

$$f_g = \frac{1}{2\pi \frac{R_0 R_q C}{R_q + 10R_0}} \approx \frac{10}{2\pi R_q C}.$$