

## 2.2.2 Frequenzkompensierter Spannungsteiler (Tastkopf)

Sachworte: Tastkopf, Frequenzkompensierter Spannungsteiler, Elektronenstrahl-oszilloskop, komplexe Rechnung

Der komplexe Eingangswiderstand  $\underline{Z}_e$  des Y-Verstärkers eines Elektronenstrahl-Oszilloskopes ist durch die Parallelschaltung eines Ohmschen Widerstandes  $R_e$  und einer Kapazität  $C_e$  gegeben. Wird dazu in Serie ein sog. Tastkopf (Parallelschaltung eines Widerstandes  $R_T$  und einer Kapazität  $C_T$ ) geschaltet, so erhält man eine Spannungsteilung um den komplexen Faktor  $\underline{V}$ , der bei entsprechender Dimensionierung reell und frequenzunabhängig wird.

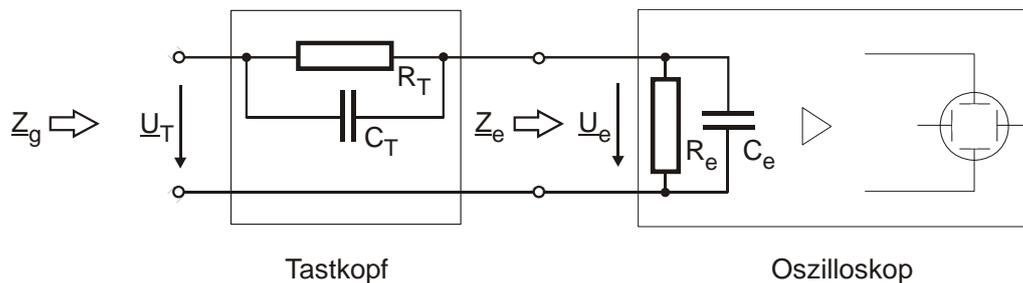


Bild 1

- a) Berechnen Sie allgemein den komplexen Spannungsteilerfaktor  $\underline{V} = \underline{U}_T / \underline{U}_e$  als Funktion der Frequenz  $f$ .

Der komplexe Widerstand  $\underline{Z}_T$  der Parallelschaltung aus  $R_T$  und  $C_T$  berechnet sich zu

$$\underline{Z}_T = R_T \parallel C_T = \frac{R_T \cdot \frac{1}{j\omega C_T}}{R_T + \frac{1}{j\omega C_T}} = \frac{R_T}{1 + j\omega R_T C_T} = \frac{R_T}{1 + j2\pi f R_T C_T} \quad (1)$$

und analog für die Parallelschaltung aus  $R_e$  und  $C_e$ :

$$\underline{Z}_e = R_e \parallel C_e = \frac{R_e}{1 + j2\pi f R_e C_e} \quad (2)$$

$\underline{Z}_T$  und  $\underline{Z}_e$  bilden für die Eingangsspannung  $\underline{U}_T$  einen Spannungsteiler.

$$\underline{V} = \frac{\underline{U}_T}{\underline{U}_e} = \frac{\underline{Z}_T + \underline{Z}_e}{\underline{Z}_e} = 1 + \frac{\underline{Z}_T}{\underline{Z}_e} = 1 + \frac{R_T}{1 + j2\pi f R_T C_T} \cdot \frac{1 + j2\pi f R_e C_e}{R_e}$$

$$\underline{V} = 1 + \frac{R_T}{R_e} \cdot \frac{1 + j2\pi f R_e C_e}{1 + j2\pi f R_T C_T} \quad (3)$$

**b) Welche Abgleichbedingung muss für einen frequenzunabhängigen Teilerfaktor  $\underline{V}$  erfüllt sein? Wie groß ist dann dieser Teilerfaktor  $V_0$ ?**

Das Teilverhältnis  $\underline{V}$  nach Gl. s(3) wird frequenzunabhängig, wenn der Bruch, der im Zähler und Nenner die frequenzabhängigen Terme enthält, gleich 1 wird.

$$\underline{V} = \frac{\underline{U}_T}{\underline{U}_e} \quad \text{frequenzunabhängig} \Rightarrow 1 + j2\pi f R_e C_e = 1 + j2\pi f R_T C_T$$

woraus sich die gesuchte Abgleichbedingung ergibt.

$$R_e \cdot C_e = R_T \cdot C_T \quad (4)$$

Eingesetzt in Gl. (3) ergibt sich ein reeller Teilerfaktor mit dem Wert

$$\underline{V}_{\text{kompensiert}} = V_0 = \frac{\underline{U}_T}{\underline{U}_e} = 1 + \frac{R_T}{R_e} \quad \text{reell!} \quad (5)$$

woraus sich mit Gl. (4) folgende Dimensionierungen ergeben:

$$R_T = R_e (V_0 - 1) \quad (6)$$

$$C_T = \frac{R_e}{R_T} C_e = \frac{1}{V_0 - 1} C_e \quad (7)$$

**c) Wie groß ist der Eingangswiderstand  $\underline{Z}_g$  des abgeglichenen Tastkopfes?**

Mit den Ergebnissen von Gl. (6) und Gl. (7) liefert eine etwas längere komplexe Rechnung, den Widerstand, mit dem ein Messobjekt bei Messungen mit einem abgeglichenen Tastkopf belastet wird.

$$\underline{Z}_g(\underline{V} = V_0) = \frac{R_e V_0}{1 + j2\pi f R_e C_e} \quad (8)$$

Durch Vergleich mit Gl. (1) wird deutlich, dass es sich um die Parallelschaltung eines Widerstandes und einer Kapazität, hier mit  $R_g$  und  $C_g$  bezeichnet, handelt.

$$\underline{Z}_g(V_0) = \frac{R_e V_0}{1 + j2\pi f R_e V_0 \cdot \frac{C_e}{V_0}} = \frac{R_g}{1 + j2\pi f R_g C_g} = R_g \parallel C_g \quad (9)$$

$$R_g = R_e V_0 \quad ; \quad C_g = \frac{C_e}{V_0} \quad (10)$$

- d) Wie sind die beiden Komponenten  $R_T$  und  $C_T$  eines Tastkopfes für einen Abgleich zu wählen, wenn die Zahlenwerte  $V_0 = 10$ ,  $R_e = 1 \text{ M}\Omega$  und  $C_e = 27 \text{ pF}$  gegeben sind?

Gl. (6) und Gl. (7) liefern:

$$R_T = R_e(V_0 - 1) = 1 \text{ M}\Omega \cdot (10 - 1) = 9 \text{ M}\Omega \quad (11)$$

$$C_T = \frac{C_e}{V_0 - 1} = \frac{27 \text{ pF}}{9} = 3 \text{ pF} \quad (12)$$

Ein abgeglicherer Tastkopf verbessert also die Rückwirkungsfreiheit auf das Messobjekt und schafft so günstigere Messbedingungen. Das Messobjekt wird weniger belastet, statt mit  $1 \text{ M}\Omega$  parallel  $27 \text{ pF}$  nur noch mit  $9 \text{ M}\Omega$  parallel  $3 \text{ pF}$ .

- e) Beschreiben und begründen Sie kurz, wie Sie in der Praxis den Tastkopf eines EO abgleichen.

An den Tastkopf wird eine Rechteckspannung angelegt und  $R_T$  solange variiert, bis sich auf dem EO-Schirm ein exakt rechteckförmiger Kurvenverlauf zeigt.

Eine Rechteckspannung stellt ein sehr breitbandiges Testsignal dar, da es einen hohen Anteil an Oberwellen aufweist. Damit lässt sich der Abgleich des Tastkopfes mit einem einfach zu generierenden Rechtecksignal einer festen Frequenz durchführen.

信