

## Messung der Kapazität HV-belasteter DEAs

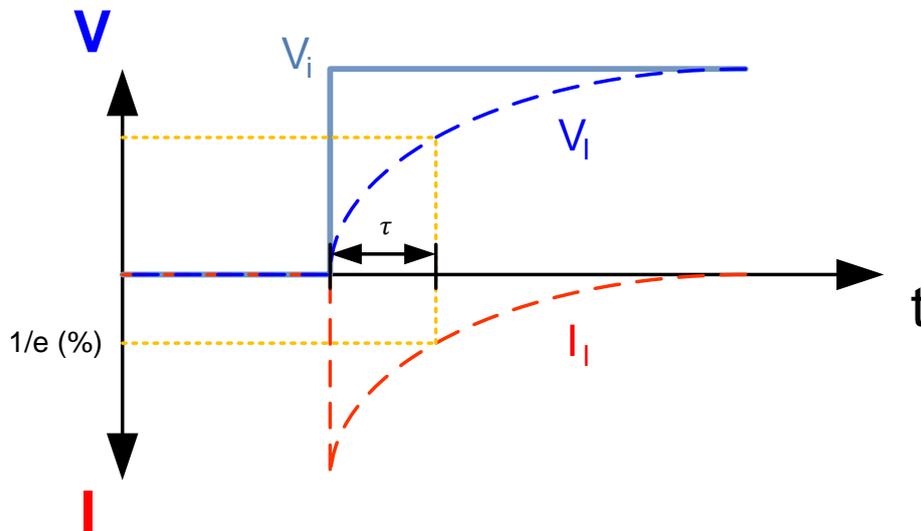
Wenn ein Kondensator geladen wird, folgt die Ladespannung verzögert und der Ladestrom sofort und wird entsprechend der Zeitfunktion der Ladespannung abgebaut. Für einen idealen Kondensator entspricht die Zeit  $\tau$  der Dauer Aufladung von

$$1 - 1/e \text{ [%]}$$

Prozent der Spannungsdifferenz eines Spannungssprungs  $\Delta V$ . Der Strom erreicht nach  $\tau$  exakt

$$1/e \text{ [%]}$$

Prozent seiner maximalen Auslenkung.



$\tau$  ist dabei unabhängig von der Größe des Spannungssprungs und lässt sich aus der Kapazität  $C$  und dem Serienwiderstand (Elektrodenleitfähigkeit)  $R_s$  berechnen:

$$\tau = C * R_s$$

Ein mit einem HV-Verstärker betriebener DE-Aktuator kann also mit einem kleinen Spannungssprung einen messbaren Ladestrom erzeugen, dessen Zeitfunktion eine Bestimmung von  $\tau$  zulässt. Der Serienwiderstand muss hierfür bestimmt werden, ebenso wie der maximale Ladestrom  $I_{load}$  zum Zeitpunkt des Spannungssprungs.  $I_{load}$  gibt den Bezug für den zu bestimmenden Strom  $I_\tau$  nach  $\tau$  vor. Er ergibt sich aus:

$$I_{load} = \frac{\Delta V}{R_s}$$

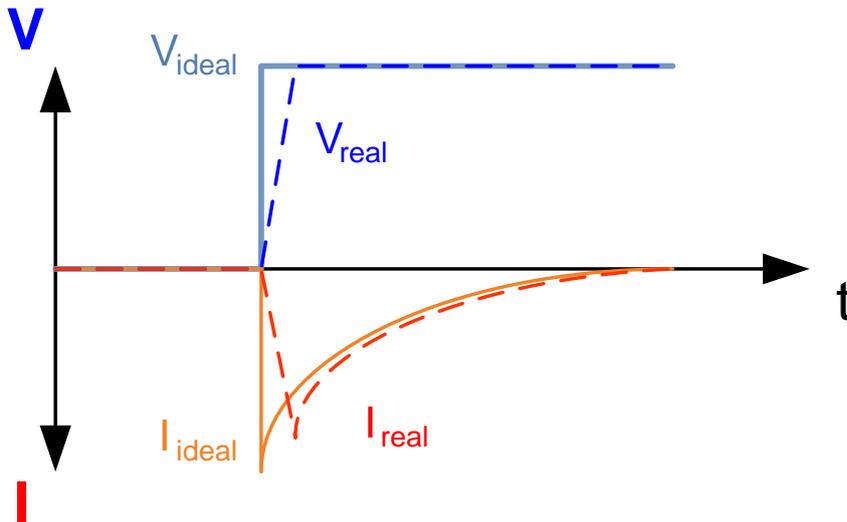
Der nichtideale DE-Kondensator hat einen Parallelwiderstand  $R_p$ , der Leckströme  $I_{leck}$  verursacht, die mitbetrachtet werden müssen. Sie ergeben sich aus der Gesamtspannung (nach dem Laden!) und sowohl Serien- als auch Parallelwiderstand:

$$I_{leck} = \frac{V + \Delta V}{R_s + R_p}$$

## In der Praxis

Bei einer praktischen Messung würde man also zunächst  $R_p$  und  $R_s$  messen und einen kleinen Spannungshub mit maximalem Anstieg anlegen. Der Monitorausgang für den Strom am HV-Verstärker muss dazu aufgezeichnet werden.  $\tau$  wird abgelesen und C daraus berechnet.

Aber auch diese Betrachtung wird den realen Bedingungen noch nicht ganz gerecht. Ein Spannungssprung ist real nie ideal und braucht eine gewisse Zeit. Ebenso kann ein Verstärker bestimmte Ströme nur in bestimmter Geschwindigkeit aufbauen. Daher ändert sich die Kurve des Ladestroms geringfügig, bei geringen Parallelwiderständen sogar stark.



Entscheidend ist dabei das Verhältnis aus Parallel- und Serienwiderstand, es sollte möglichst groß sein. Da sich aber der Ladestrom nach  $\Delta V$  und  $R_s$  richtet, muss für eine praktische Messung ein guter Kompromiss aus beiden gefunden werden.

- Hohe  $\Delta V$  erhöhen den Ladestrom, den der Verstärker u.U. langsamer bereitstellt und sie erhöhen den mechanischen Einfluss auf den weichen Kondensator.
- Niedrige  $\Delta V$  können für präzise Zeitmessungen zu verrauschte Daten erzeugen.
- Zusätzlich in Reihe installierte  $R_s$  haben den Vorteil der Strombegrenzung, verschlechtern aber das Verhältnis  $R_p/R_s$  und erhöhen somit die Ungenauigkeit der Messung

Meinen Simulationen zufolge kann mit realen DEAs eine Messungenauigkeit von  $<0,01\%$  möglich sein. Das hängt aber noch von der Auflösung der Messwerte, der Präzision des Monitorausgangs und dem Einfluss des Rauschens ab.