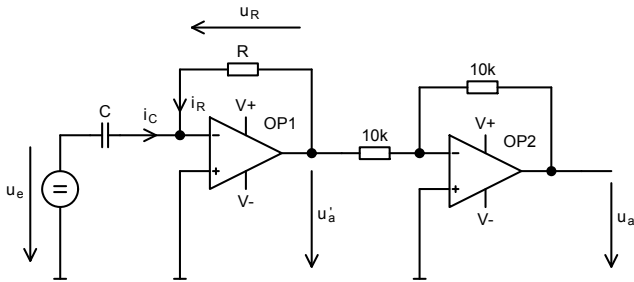


1. Das Zeitverhalten

Das folgende Bild zeigt die Schaltung eines nicht invertierenden D-Regelkreisgliedes (Differenzierer):

Bild 1.1:



Mit OP1 bildet die Schaltung einen invertierenden Differenzierer. Durch den Inverter OP2 wird diese zum nicht invertierenden Differenzierer.

Für den Kondensator C gilt, dass die Spannung U_C proportional zur Ladung Q ist.

$$Q \sim U_C$$

Der Proportionalitätsfaktor ist die Kapazität C des Kondensators.

$$Q = C \cdot U_C$$

Fließt für eine gewisse Zeit Δt ein konstanter Strom I_C in den Kondensator ändert sich die Ladung um $\Delta Q = I_C \cdot \Delta t$ und die Spannung ändert sich linear um ΔU_C .

$$I_C \cdot \Delta t = C \cdot \Delta U_C = C \cdot \Delta U_e \quad \text{mit } U_C = U_e$$

Damit ergibt sich allgemein der Kondensatorstrom zu $I_C = C \cdot \frac{\Delta U_e}{\Delta t}$.

Der Ausdruck $\frac{\Delta U_e}{\Delta t}$ ist die Änderungsgeschwindigkeit der Eingangsspannung. Bei gegebener Kapazität C ist die Strom umso größer, je schneller sich die Eingangsspannung ändert.

Für die Schaltung in Bild 1.1 ist $I_C + I_R = 0$ (Knotenregel).

Auf Grund der Gegenkopplung ist die Differenzeingangsspannung am Operationsverstärker 0 Volt.

	Regelungstechnik	© Udo John
	Regelkreisglieder mit D-Verhalten	Seite 2 von 6

Mit

$$I_R = \frac{U_{a'}}{R} \quad \text{ergibt sich:} \quad \frac{U_{a'}}{R} + C \cdot \frac{\Delta U_e}{\Delta t} = 0$$

Und schließlich für die Ausgangsspannung:

$$C \cdot \frac{\Delta U_e}{\Delta t} = -\frac{U_{a'}}{R} \quad \text{und} \quad U_{a'} = -RC \cdot \frac{\Delta U_e}{\Delta t}$$

Man erkennt, dass bei ansteigender Eingangsspannung (positiver Anstieg) $U_{a'}$ am Ausgang des ersten OPs negativ ist. Dieses invertierende Verhalten wird durch OP2 ausgeglichen.

Damit wird:

$$U_a = RC \cdot \frac{\Delta U_e}{\Delta t} = K_D \cdot \frac{\Delta U_e}{\Delta t}$$

mit $K_D = R \cdot C = T_V$

Der Ausdruck $R \cdot C$ ist eine **Kenngroße des Differenzierers** und wird als **Differenzierbeiwert K_D** bezeichnet! Die Einheit von K_D ist Sekunde!

Merke:

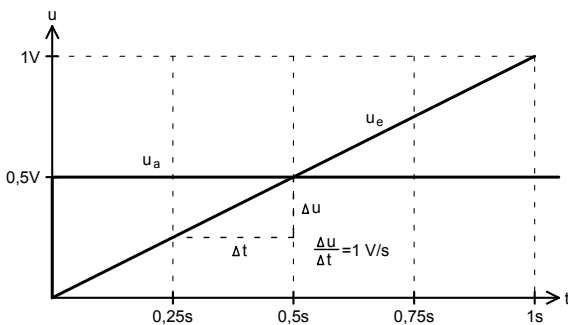
Ein D-Regelkreisglied reagiert auf Änderungen der Spannung am Eingang. Je schneller sich die Eingangsspannung ändert, desto höher ist die Ausgangsspannung. Ist die Eingangsspannung konstant, ist die Ausgangsspannung 0 Volt!

2. Die Anstiegsantwort

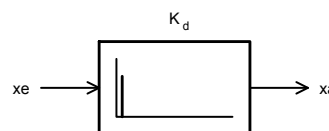
Das Verhalten des D-Regelkreisgliedes wird grafisch durch die **Anstiegsantwort** dargestellt. Dabei wird beispielsweise eine Spannung an den Eingang gelegt, welche sich in 1 s um 1 Volt ändert und die Ausgangsspannung wird mit einem Speicheroszilloskop oder Kennlinienschreiber gemessen. K_D gibt an, welchen Wert die Ausgangsspannung annimmt, wenn sich die Eingangsspannung in 1 s um 1 Volt ändert!

Beispiel: $R=100\text{k}\Omega, C=5 \mu\text{F} \rightarrow K_D = 0,5 \text{ s}$ Daraus folgt: $U_a = K_D \cdot \frac{\Delta U_e}{\Delta t} = 0,5\text{s} \cdot \frac{1\text{V}}{1\text{s}} = 0,5\text{V}$

Anstiegsantwort:

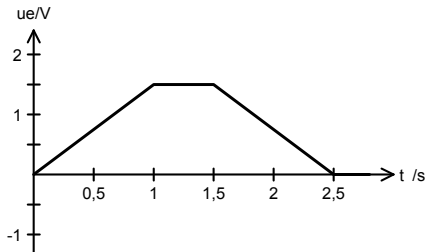


Blockschaltbild:



Übung 2.1:

An ein D-Regelkreisglied mit $K_D = 2s$ wird die folgende Eingangsspannung angelegt.



- Berechnen und zeichnen Sie bitte maßstäblich den Verlauf der Ausgangsspannung!
- Erstellen Sie eine Operationsverstärker-Schaltung mit LTspice, simulieren Sie die Schaltung und weisen Sie die korrekte Berechnung nach!

Übung 2.2:

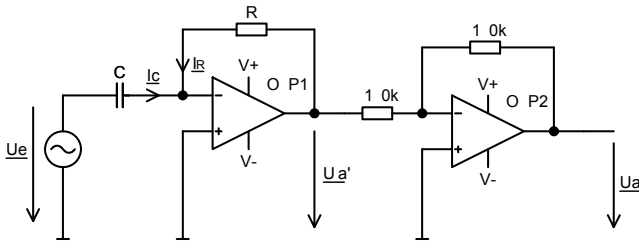
Bei einem Regelkreisglied wird folgende Anstiegsantwort gemessen.

- Bestimmen Sie K_d des Regelkreisgliedes!
- Entwickeln und dimensionieren Sie eine Schaltung mit Operationsverstärker!



3. Der Frequenzgang

Im Folgenden soll das Verhalten des D-Regelkreisgliedes bei sinusförmiger Spannung betrachtet werden (Frequenzverhalten).



Mit

$$\underline{I}_C + \underline{I}_R = 0$$

und $\underline{I}_R = \frac{U_{a'}}{R}$ sowie $\underline{I}_C = j\omega C \cdot \underline{U}_e$ ergibt sich $\frac{U_{a'}}{R} + j\omega C \cdot \underline{U}_e = 0$.

Nach Umstellung ist

$$\underline{U}_{a'} = -\underline{U}_e \cdot j\omega RC$$

Nach dem Inverter mit OP2 und unter Einsetzen von $K_D = R \cdot C$ ergibt sich:

$$\underline{U}_a = \underline{U}_e \cdot j\omega RC = \underline{U}_e \cdot j\omega K_D$$

Folgerungen:

- Bei gegebenem K_D ist die Ausgangsspannung umso größer, je größer die Frequenz wird.
- Die Ausgangsspannung eilt der Eingangsspannung um 90° vor.

Unter dem komplexen Frequenzgang \underline{F} eines Regelkreisgliedes versteht man das Verhältnis der Ausgangsspannung zur Eingangsspannung:

$$\underline{F} = \frac{U_a}{U_e} = j\omega K_D$$

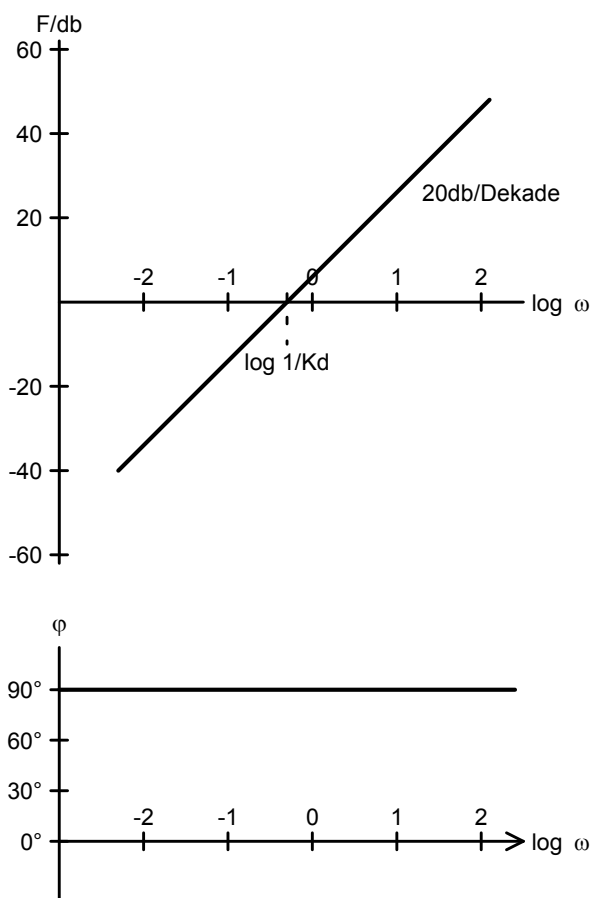
4. Das Bode-Diagramm

Die grafische Darstellung des Frequenzganges erfolgt durch das Bode-Diagramm.

Der Amplitudengang ist eine Gerade, welche mit 20db/Dekade ansteigt und die ω -Achse bei $\frac{1}{K_D}$ schneidet.

Die Phasenlage ist bei allen Frequenzen 90°.

Das folgende Diagramm zeigt das Beispiel für $K_D=2$ s.



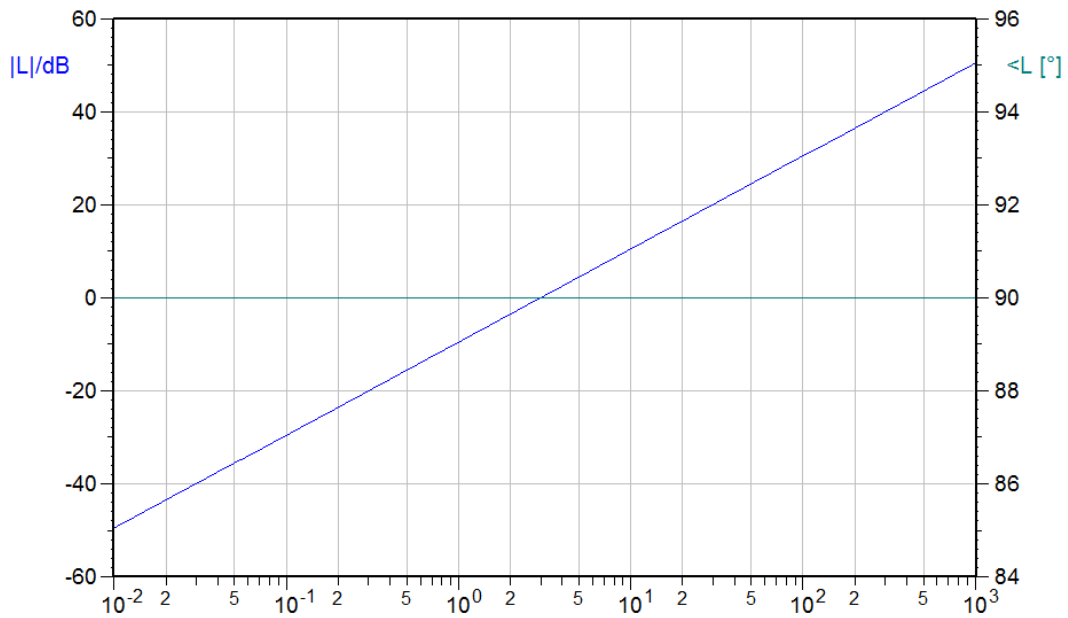
	Regelungstechnik	© Udo John
	Regelkreisglieder mit D-Verhalten	Seite 6 von 6

Übung 4.1:

- Entwickeln und dimensionieren Sie die Schaltung eines D-Regelkreisgliedes mit $K_D=0,05s$!
- Zeichnen Sie das Bode-Diagramm!
- Bestimmen Sie an Hand des Bode Diagramms die Verstärkung für $\omega = 5, 20, 100$ und 1000 s^{-1} !
- Überprüfen Sie die Ergebnisse in Aufgabe c) durch Berechnung der Werte!

Übung 4.2:

- Zu welchem Regelkreisglied gehört das folgende Bode-Diagramm? Begründen Sie Ihre Antwort!



- Entwickeln und dimensionieren Sie ein entsprechende Operationsverstärker-Schaltung!