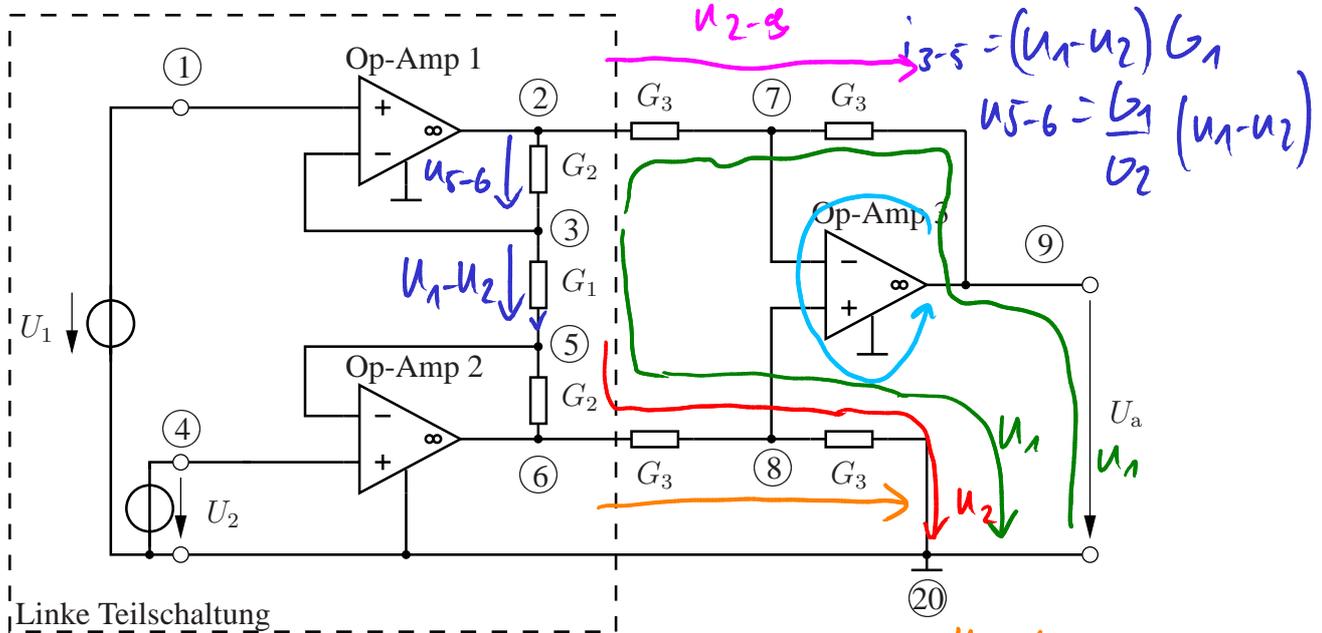


Aufgabe 3 Instrumentenverstärker (35 Punkte)

In Bild 6 sei die Schaltung eines sogenannten Instrumentenverstärkers gegeben. Dieser wird häufig in der Meßtechnik eingesetzt. In dieser Aufgabe darf für alle drei Operationsverstärker angenommen werden, dass sie im streng linearen Bereich betrieben werden.



Linke Teilschaltung

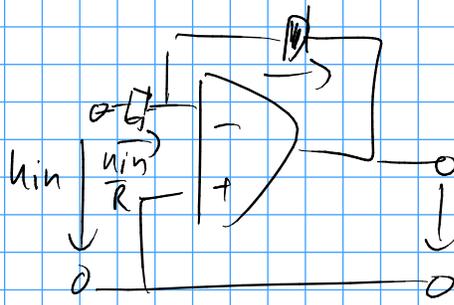
Bild 6. Instrumentenverstärker

a)* Welchen entscheidenden Schritt müssen Sie durchführen, um diese Schaltung der Knotenspannungsanalyse zugänglich zu machen? Geben Sie hierbei auch die Bauelemente an, die von diesem Schritt betroffen sind.

b) Geben Sie eine Möglichkeit an, wie dieser Schritt erfolgen kann.

c) Zeichnen Sie die Schaltung, indem Sie die Operationsverstärker durch die entsprechenden Ersatzschaltbilder ersetzen und den Schritt aus Teilaufgabe a) bzw. b) durchführen. Übernehmen Sie dabei die Knotennummerierung von Bild 6, und geben Sie eventuell zusätzlich auftretenden Knoten die jeweils nächstgrößere, noch nicht benutzte Ziffer.

STA-Tutorium - Letzte Stunde



$$i_d = I_s \left(e^{\frac{u_0}{U_T}} - 1 \right)$$

$$\frac{i_d}{I_s} + 1 = e^{\frac{u_0}{U_T}} \quad | \ln$$

$$\Rightarrow u_p = U_T \ln \left(\frac{i_d}{I_s} + 1 \right)$$

$$u = -u_0 =$$

$$= -U_T \ln \left(\frac{u_{in}}{R I_s} + 1 \right)$$

Hinweise zu Blatt 12:

$$u_{5-6} = \frac{G_1}{G_2} (u_1 - u_2) = u_{2-3}$$

$$u_{6-20} = u_2 - u_{5-6} = u_2 - \frac{G_1}{G_2} (u_1 - u_2)$$

$$u_{6-8} = \frac{1}{2} u_{6-20}$$

$$u_{8-20} = \frac{1}{2} u_{6-20}$$

oberer Teil:

$$u_{7-9} = \frac{1}{2} u_{2-9} = \frac{1}{2} \left(u_1 + \frac{G_1}{G_2} (u_1 - u_2) - u_a \right)$$

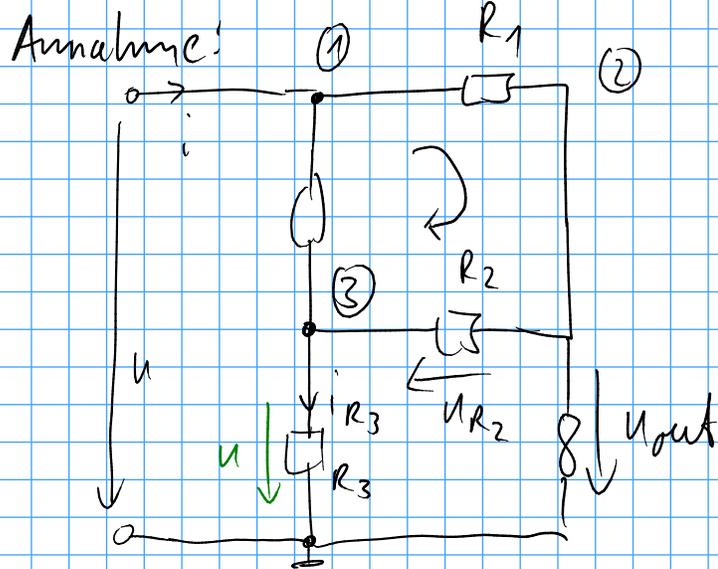
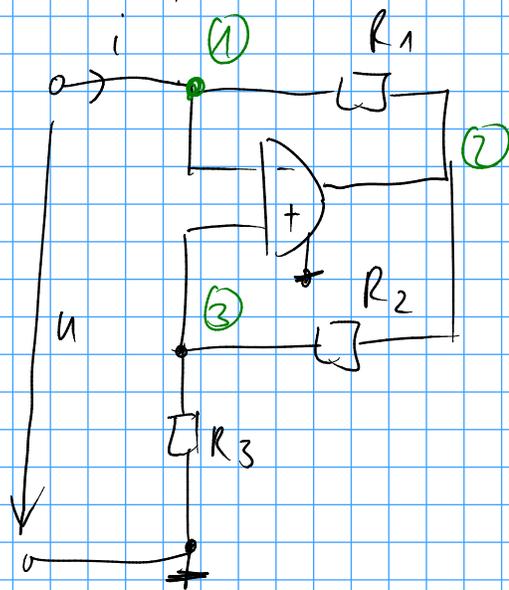
$$u_a = u_{9-7} + u_{8-20} =$$

$$= -\frac{1}{2} \left(u_1 + \frac{G_1}{G_2} (u_1 - u_2) - u_a \right) + \frac{1}{2} u_2 - \frac{1}{2} \frac{G_1}{G_2} (u_1 - u_2) =$$

$$= -\frac{1}{2} u_1 - \frac{1}{2} \frac{G_1}{G_2} (u_1 - u_2) + \frac{1}{2} u_a + \frac{1}{2} u_2 - \frac{1}{2} \frac{G_1}{G_2} (u_1 - u_2)$$

$$\frac{u_a}{2} = \frac{1}{2} (u_2 - u_1) - \frac{G_1}{G_2} (u_1 - u_2) \Leftrightarrow \boxed{u_a = \left(2 \frac{G_1}{G_2} + 1 \right) (u_2 - u_1)}$$

HA 4 / Aufgabe 2:



1. $R_{lin} = \frac{u}{i}$

$$i_{R3} = \frac{u}{R3}$$

$$R1 i + u_{R2} = 0$$

$$u_{R2} = R2 i_{R2} = R2 \frac{u}{R3}$$

$$R1 i + \frac{R2 u}{R3} = 0$$

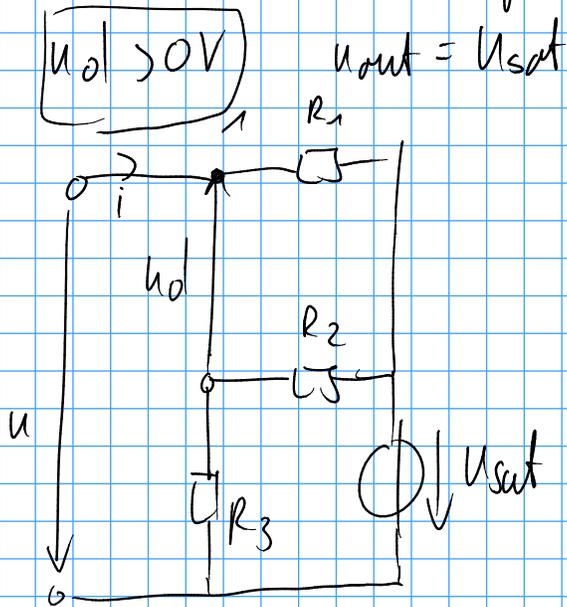
$$R1 i = -\frac{R2}{R3} u \Rightarrow R_{lin} = \frac{u}{i} = -\frac{R3 \cdot R1}{R2}$$

2. ges: $u = U_{gr} \mid u_{out} = \pm U_{sat}$

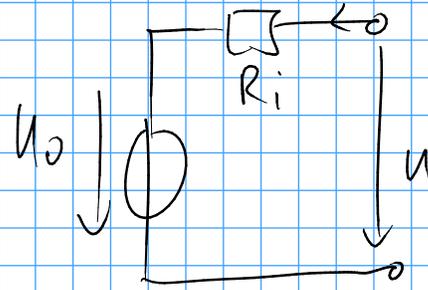
Spannungsteiler: $u = \frac{R3}{R2 + R3} u_{out}$

$$\Rightarrow u_{gr} = u = \pm U_{sat} \cdot \frac{R3}{R2 + R3}$$

3. ESB für pos. Sättigung:



4. (R_1, U_{sat}) Helmholtz-
Thévenin-ESB
Parameter



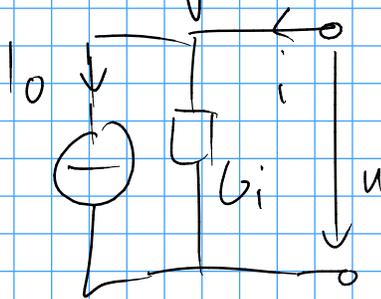
$$u = R_1 i + U_{sat}$$

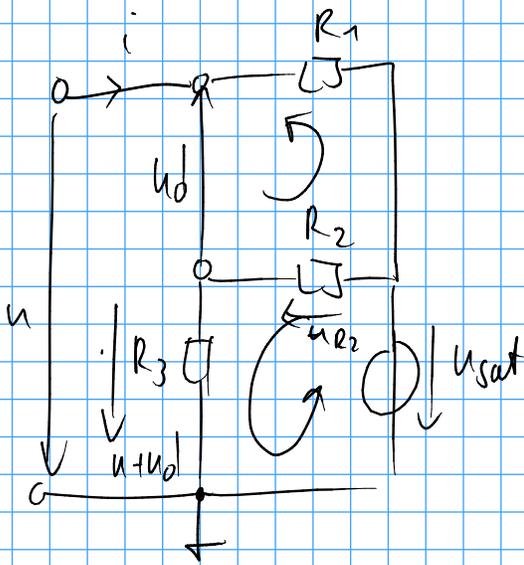
LL/KS-
Methode: $u = U_0 \Big|_{i=0} = U_{sat}$

$$R_i = \frac{u}{i} \Big|_{U_0=0V} = R_1$$

Mayer-Norton-ESB:

→ Quellwandlung des H-T-ESB





ges: erlaubter Betriebsbereich für u, i
für pos. Sättigung ($u_d > 0V$)

$$u + u_d = \frac{u + u_d \cdot R_2}{R_3} = U_{sat}$$

Spannungsteiler:

$$u + u_d = U_{sat} \cdot \frac{R_3}{R_2 + R_3}$$

$u_d > 0V$:

$$u_d = U_{sat} \cdot \frac{R_3}{R_2 + R_3} - u > 0V$$

$$\Rightarrow u < U_{sat} \cdot \frac{R_3}{R_2 + R_3}$$

Bereich für i :

$$u_d = -u_{R2} - R_1 i = -\frac{R_2}{R_2 + R_3} U_{sat} - R_1 i \quad (R_1)$$

$$-\frac{u_d}{R_1} = \frac{R_2}{R_1(R_2 + R_3)} U_{sat} + i$$

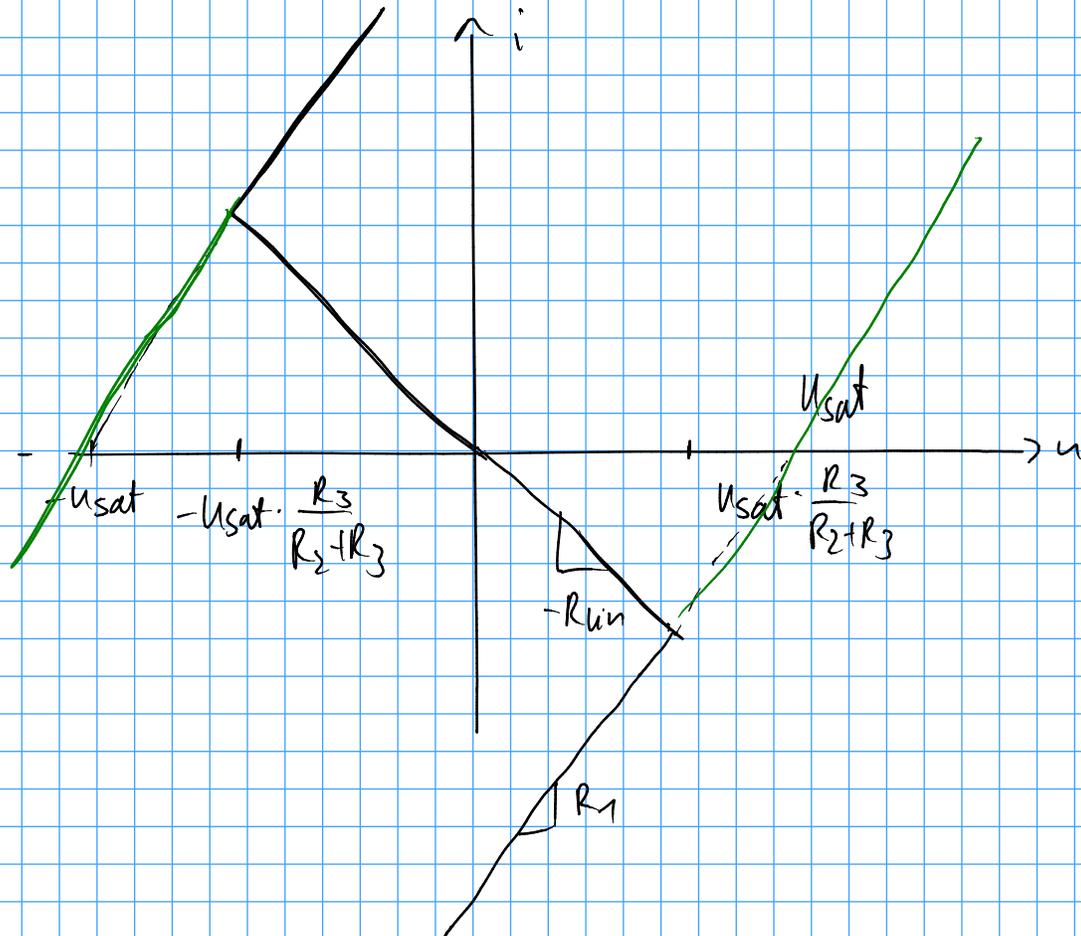
< 0

$$\Rightarrow i < -\frac{R_2}{R_1(R_2 + R_3)} \cdot U_{sat}$$

Bereich für neg. Sättigung: $u_d < 0$

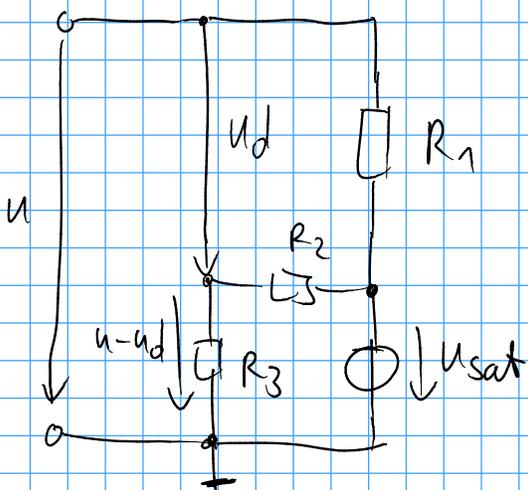
$$u > -\frac{R_3}{R_2 + R_3} U_{sat}$$

$$i > \frac{R_2}{R_1(R_2 + R_3)} \cdot U_{sat}$$



Rechenweg zur Ermittlung der grünen Abschnitte:

ESB für den umgepolten Optamp in pos. Sättigung ($u_d > 0V$)

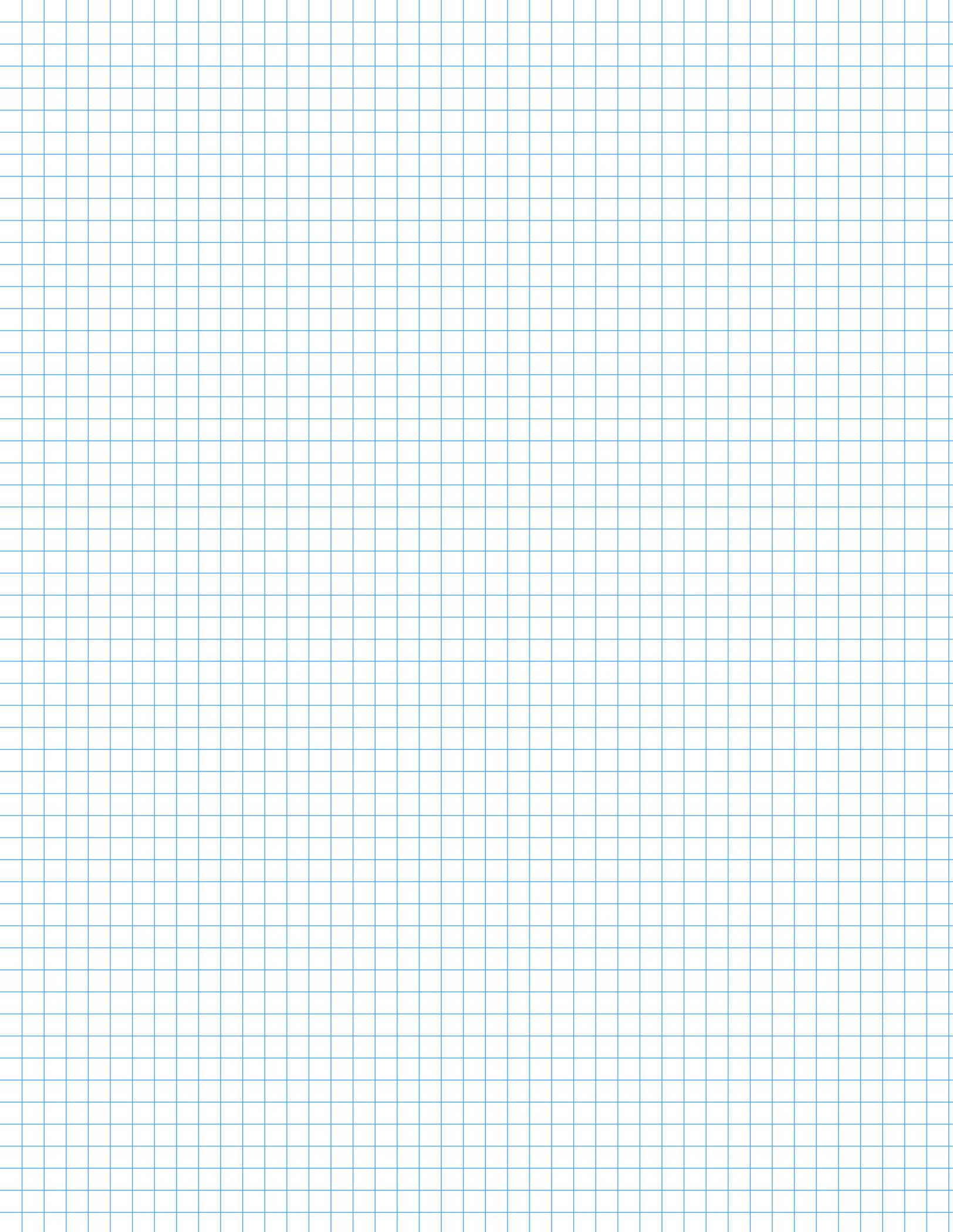


$$u - u_d = \frac{R_3}{R_2 + R_3} \cdot U_{\text{sat}}$$

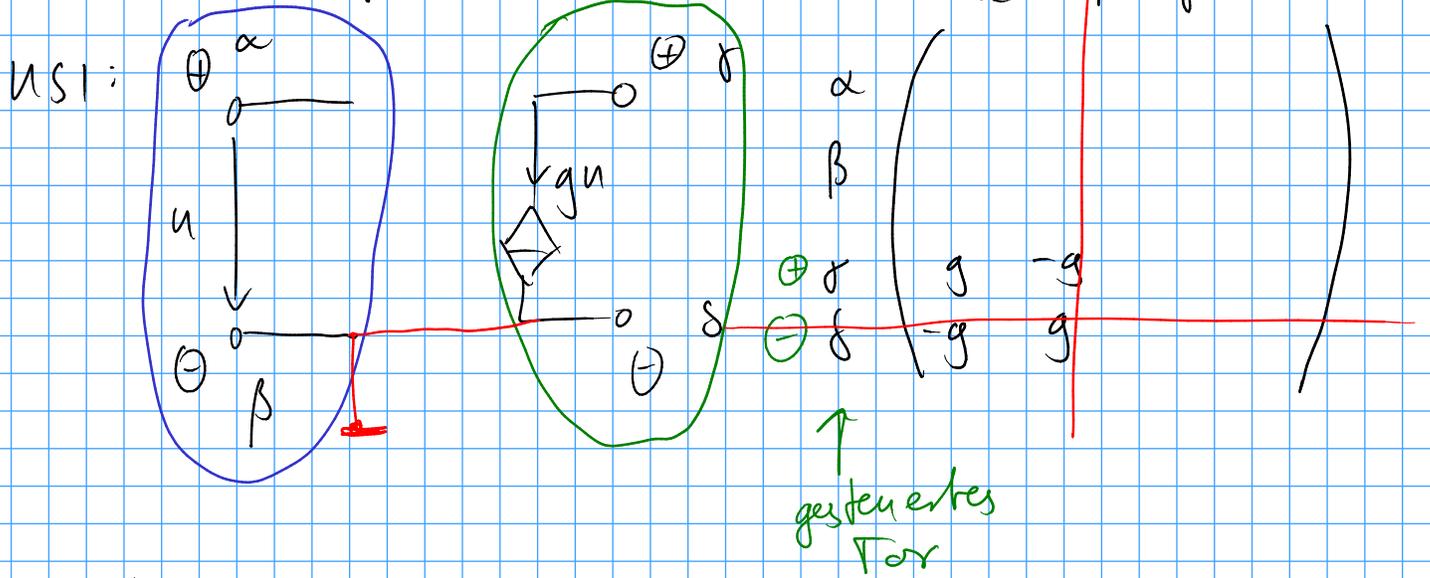
$$u - \frac{R_3}{R_2 + R_3} U_{\text{sat}} = u_d$$

$$u_d > 0V \Leftrightarrow u > \frac{R_3}{R_2 + R_3} \cdot U_{\text{sat}}$$

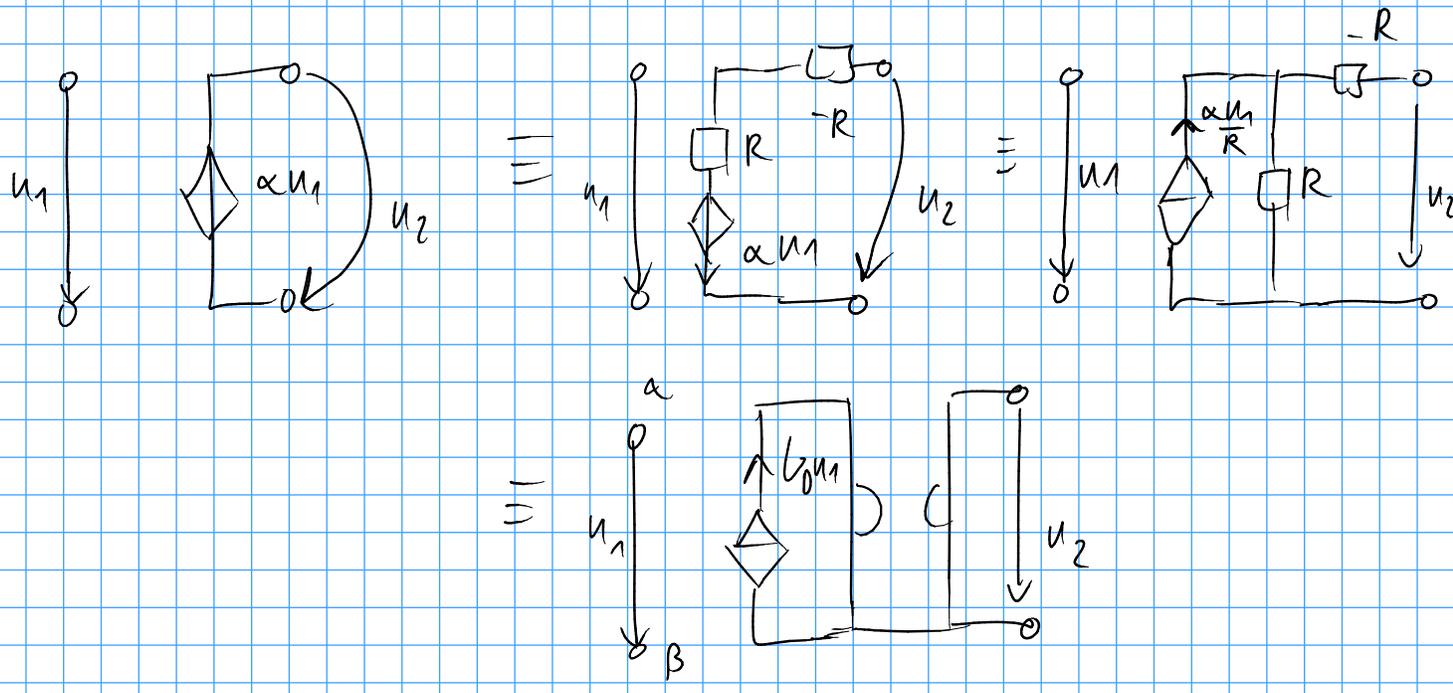
Für Fall $u_d < 0V$ verfahren analog zu vorher!



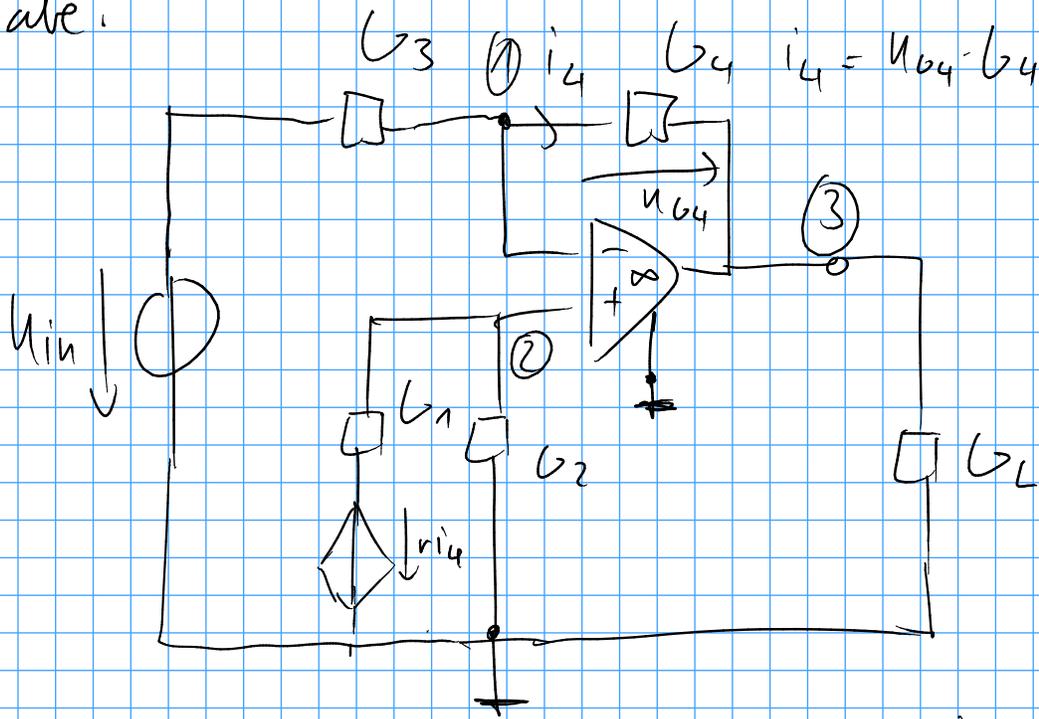
Knotenspannungsanalyse:



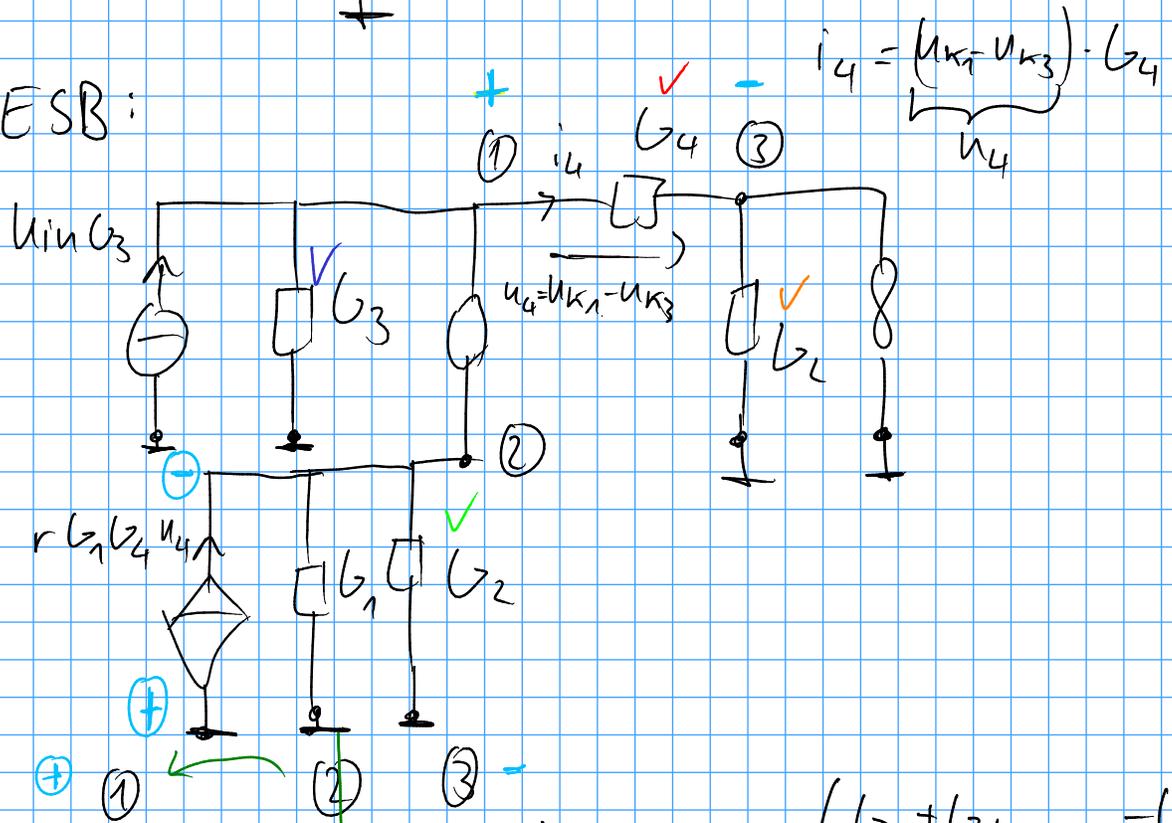
USU:



Aufgabe:



Lineare ESB:



$$\underline{Y}'_{K} = \begin{matrix} \textcircled{1} & \textcircled{2} & \textcircled{3} \\ \textcircled{1} & G_3 + G_4 & -G_4 \\ \textcircled{2} & -r_i b_1 b_4 & G_2 + G_1 + r_i b_1 b_4 \\ \textcircled{3} & G_4 & G_4 + G_L \end{matrix}$$

$$\underline{Y}_K = \begin{pmatrix} G_3 + G_4 & -G_4 \\ -r_i b_1 b_4 + G_1 + G_2 & r_i b_1 b_4 \end{pmatrix}$$

$$\underline{I}_q = \begin{pmatrix} u_{in} G_3 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \underline{u}_K = \begin{pmatrix} u_{k1} \\ u_{k3} \end{pmatrix}$$