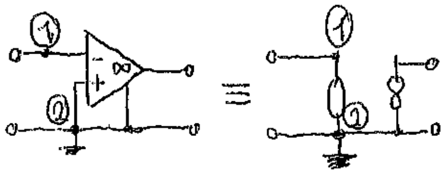
Kapitel 6 – Operationsverstärker

• Lineare Op-Amp Schaltungen

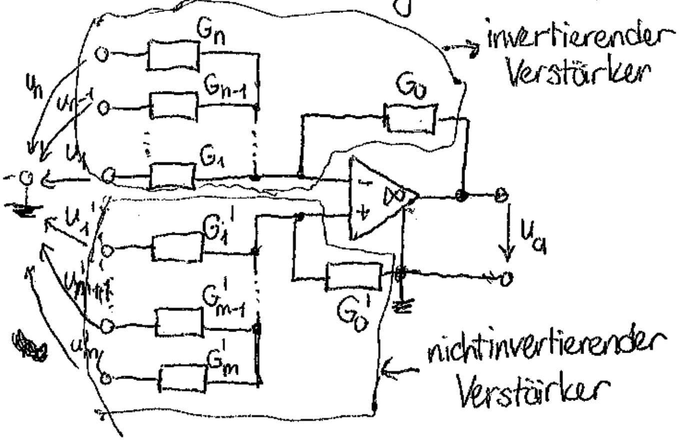
→ Durch äußere Beschaltung wird sichergestellt, dass Op-Amp nur im <u>linearen</u> Bereich betrieben ist.
⇒ Nullormodell anwendbar.

1) Virtuelle Masse:



→ Liegt ein Eingang auf der Masse, so liegt der andere auch an Masse, wegen der Tatsache, dass der Spannungsabfall an Nullator 0V ist.
⇒ Hier liegt ① auch auf Masse. ⇒ Knoten ① ist eine virtuelle Masse.
→ Außerdem fließt kein Strom zwischen ① und ②.

2) Summierer: Bildet beliebige Linearkombinationen der Eingangsspannungen.



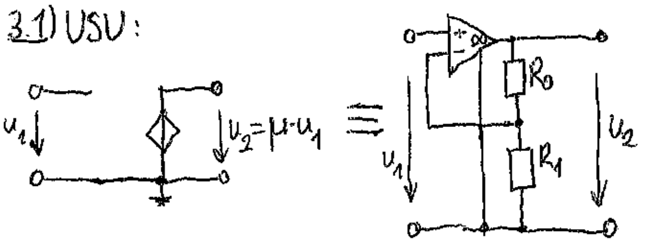
→ parallele Leitwerte: $G=\sum_{i=0}^{n} G_i$, $G'=\sum_{j=0}^{m} G_j'$

$$\Rightarrow u_0 = \underbrace{-\sum_{i=1}^{n}\frac{G_i}{G_0}\cdot u_i}_{\text{invert. Verst.}} + \underbrace{\sum_{j=1}^{m}\frac{G_j'}{G_0}\cdot\frac{G}{G'}\cdot u_j'}_{\text{nichtinv. Verst.}}$$

⇒ Beliebige Summe, bzw. Differenz der Eingangsspannungen.

3) Gesteuerte Quellen:

<u>3.1)</u> USU:



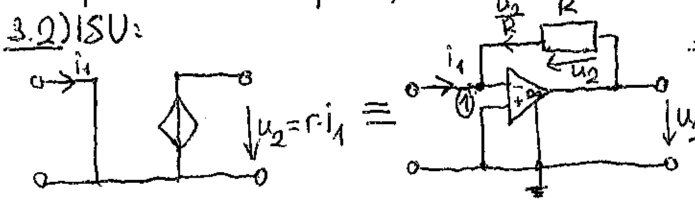
$\Rightarrow u_2=\mu\cdot u_1$ mit $\mu = 1+\frac{R_0}{R_1}$

⇒ Für $\mu > 1$ kann man ein USU mit einem nichtinvertierenden Verstärker realisieren.

• $\mu<0$ ⇒ invertierender Verstärker mit Spannungsfolger kettenverschaltet. (Spannungsfolger dient dazu, dass der Eingangsstrom $i_e=0$ wird.)

• $0<\mu<1$ ⇒ Wie bei $\mu<0$, noch einmal mit einem invertierenden Verstärker kettenverschaltet. (siehe auch Skript)

<u>3.2)</u> ISU:



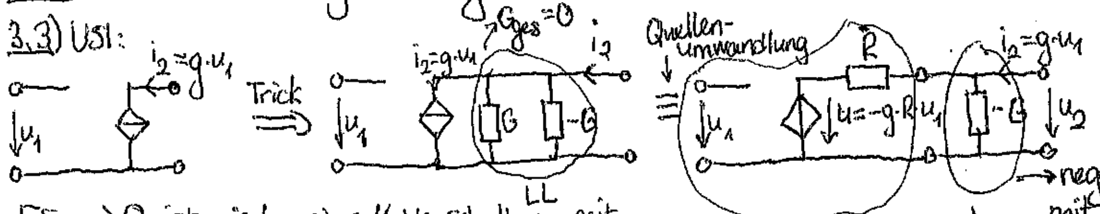
→ ① ist virtuelle Masse ⇒ u_2 läuft über R

$\Rightarrow$ KCL bei ①: $i_1=\frac{-u_2}{R} \Rightarrow u_2=-R\cdot i_1 \Rightarrow r=-R$

(Diese Realisierung gilt nur für $r<0$.)

<u>$r>0$</u>: Kettenschaltung der obigen mit invert. Verstärker.

<u>3.3)</u> USI:

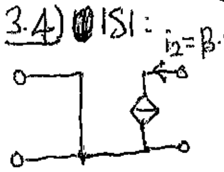


→ negativer Widerstand mit NIK realisierbar

⇔ USU (Realisierung wie oben mit nicht inv. Verst.)

• Für <u>$g>0$</u> ist wieder eine Kettenschaltung mit inv. Verst. möglich.

<u>3.4)</u> ISI:



<u>$\beta<0$</u>: Analog zu USI. Besteht aus einem ISU und negativem Widerstand. ISU wird wie oben mit einem invertierenden Verstärker und negativer Widerstand mit NIK zu realisieren.

<u>$\beta>0$</u>: Völlig gleich wie andere Fälle, Kettenschaltung mit inv. Verstärker.

4) Gyrator (Dualwandler)

→ Gyrator ist durch Parallelschaltung zweier USI, oder Serienschaltung zweier ISU realisierbar, wobei die gesteuerten Quellen, wie oben diskutiert mit Op-Amps zu realisieren sind.

→ Eine dritte Möglichkeit wird im Skript ausführlich dargestellt, wobei die Kettenmatrix:

$$\underset{\sim}{A}_{gyr} = \begin{bmatrix} 0 & R \\ \frac{1}{R} & 0 \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}}_{\underset{\sim}{A}_{NIK}} \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & R \\ -\frac{1}{R} & 0 \end{bmatrix}}_{\underset{\sim}{A}_{NII}}$$

in die Kettenmatrizen eines NIKs und eines NIIs zerlegt werden.

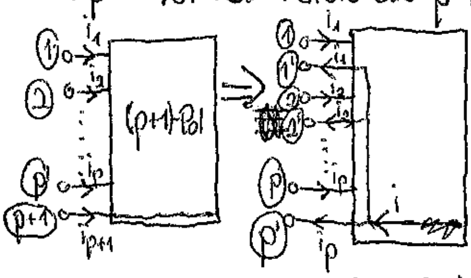
$\underset{\sim}{A}_{NII}$ (≙ Negativ Immittanz Inverter)

⇒ Gyrator ist durch Kettenschaltung eines NIKs mit einem NII realisierbar.

Kapitel 7 - Resistive Mehrtore

→ Besteht aus p-Toren, bei allen die Torbedingung erfüllt werden soll. D.h. einlaufender Strom ist gleich zu auslaufendem bei allen p Toren ($p \in \mathbb{N}$, $p > 2$, da Zweitore schon behandelt).

→ Ein p+1-Pol kann stets als p-Tor beschrieben werden:



diese Richtung gilt nicht, i.A.

→ Alle Pole mit ' sind dasselbe wie (p+1). Pol. (p+1)-Pol wird als gemeinsame Klemme gezogen und tritt bei allen p-Toren auf (wie bei 3-Pole zu Zweitoren)

→ Jedoch: 2p-Pol ≠ p-Tor ∇ (Torbedingungen sollen erfüllt sein!)

→ Auch p-Tor ≠ (p+1)-Pol, da wir nicht wissen, ob alle Klemmen auf derselben Potential liegen.

→ Betriebsgrößen: $\underline{u}(t) = [u_1(t), u_2(t), \dots, u_p(t)]^T$ (≙ Torspannungsvektor), $\underline{i}(t) = i_1(t), i_2(t), \dots, i_p(t)]^T$ (≙ Torstromvektor)

→ Kennlinie ist p-Dimensional. Beispielsweise ein AP hat bei einem p-Tor, 2p-Größen.

• Beschreibungsformen:

→ Implizite Beschreibung: Nullstellenmenge als p-Funktionen $\underline{f}$ formuliert, nicht eindeutig.

allg: $\underline{f}\left(\begin{bmatrix} \underline{u} \\ \underline{i} \end{bmatrix}\right) = \underline{0} \Leftrightarrow f_1\left(\begin{bmatrix} \underline{u} \\ \underline{i} \end{bmatrix}\right) = 0, \ \dots, \ f_p\left(\begin{bmatrix} \underline{u} \\ \underline{i} \end{bmatrix}\right) = 0 \quad \xRightarrow{\text{streng linear:}} \quad \underbrace{[\underset{\sim}{M} \ \underset{\sim}{N}]}_{\in \mathbb{R}^{p \times 2p}} \cdot \begin{bmatrix} \underline{u} \\ \underline{i} \end{bmatrix} = \underline{0}$

→ Parametrische Beschreibung: p-Funktionen für Spannung und p-Funktionen für Strom, alle in Abhängigkeit von dem Parameter $\underline{c} \in \mathbb{R}^p$, nicht eindeutig

allg: $\begin{bmatrix} \underline{f}_u(\underline{c}) \\ \underline{f}_i(\underline{c}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{u} \\ \underline{i} \end{bmatrix} \quad \xRightarrow{\text{streng linear:}} \quad \underbrace{\begin{bmatrix} \underset{\sim}{U} \\ \underset{\sim}{I} \end{bmatrix}}_{\in \mathbb{R}^{2p \times p}} \cdot \underline{c} = \begin{bmatrix} \underline{u} \\ \underline{i} \end{bmatrix}$

→ Explizite Beschreibungen: $\binom{2p}{p} = \frac{(2p)!}{(p!)^2}$ - Möglichkeiten. In der Praxis sind einige hybride, Beschreibungen, Widerstandsbeschr., Leitwertsbeschr. und die Kettenbeschreibung wichtig. Explizite Beschreibungen sind eindeutig, jedoch sollen nicht immer existieren.

allg: $\underline{i} = \underline{g}(\underline{u})$ (≙ Leitwertsbesch.)

$\underline{u} = \underline{r}(\underline{i})$ (≙ Widerstandsbesch.) $\quad \xRightarrow{\text{streng linear:}} \quad \underline{i} = \underset{\sim}{G} \cdot \underline{u}, \quad \underline{u} = \underset{\sim}{R} \cdot \underline{i}$ — Mehrtormatrizen

→ Bei Kettenschaltung von Mehrtoren gilt:

allg: $\underline{a}_{ges} = \underline{a}_1 \circ \underline{a}_2 = \underline{a}_1(\underline{a}_2) \quad \xRightarrow{\text{streng linear:}} \quad \underset{\sim}{A}_{ges} = \underset{\sim}{A}_1 \underset{\sim}{A}_2$

• Spezielle Mehrtore

1) Mehrtor-Übertrager: → Verallgemeinerung eines idealen Zweitorübertragers.

Mehrtor-Übertrager

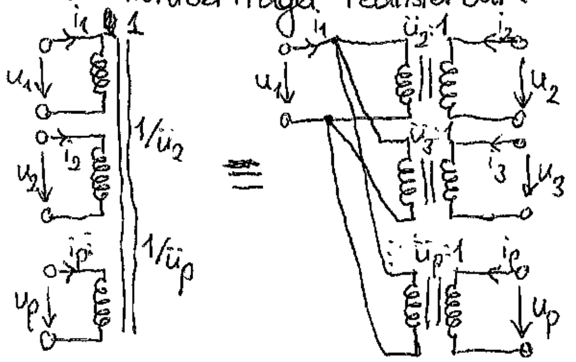
$$u_1 - \ddot{u}_2 \cdot u_2 = 0$$
$$u_1 - \ddot{u}_3 \cdot u_3 = 0$$
$$\vdots$$
$$u_1 - \ddot{u}_p \cdot u_p = 0$$
$$i_1 + \frac{1}{\ddot{u}_2} \cdot i_2 + \frac{1}{\ddot{u}_3} \cdot i_3 + \ldots + \frac{1}{\ddot{u}_p} \cdot i_p = 0$$

$\Longleftarrow$

Analogie zum Zweitorübertrager:

$$u_1 - \ddot{u} \cdot u_2 = 0$$
$$i_1 + \frac{1}{\ddot{u}} \cdot i_2 = 0$$

→ Immer mit p-1 idealen Zweitorübertrager realisierbar:



2) Zirkulator:

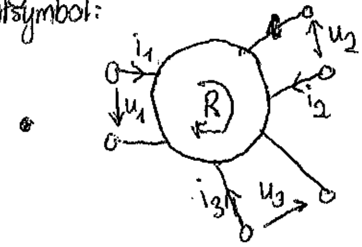
→ implizite Beschreibung des Dreitorzirkulators.
$$\underset{\sim}{M} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \underset{\sim}{N} = \begin{bmatrix} 0 & -R & +R \\ +R & 0 & -R \\ -R & +R & 0 \end{bmatrix} = -\underset{\sim}{R}, \text{ da } \underset{\sim}{R} = -\underset{\sim}{M}^{-1} \cdot \underset{\sim}{N}$$
(siehe Musterlösung 4)

→ Diese Gleichungen sind für Dreitorzirkulator jedoch können auch für Zirkulatoren größerer Dimensionen analog erweiterbar.

→ Zirkulator ist verlustlos ($\underset{\sim}{R}$ ist schiefsymmetrisch)

→ Eine Analyse zeigt (siehe dazu Skript), dass wenn man an Tor 1 Leistung ins System einprägt, dann wird diese vollständig am Tor 2 abgegeben und es bleibt keine Leistung für Tor 3.
Diese Überlegung gilt auch für eine Indexshift, d.h. wird am Tor 2 Leistung aufgenommen, so wird sie vollständig am Tor 3 abgegeben und zum Tor 1 bleibt nichts übrig.
Deswegen dient die Schaltung dazu, dass die Leistung im System zirkuliert wird.

→ Schaltsymbol:



→ Die Realisierung mit Gyrator und ein Anwendungsbeispiel sind im Skript.

3) Multiplizierer und Dividierer

→ hybride Beschreibung:
$$\begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ u_3 \end{bmatrix} = \underline{h}\begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \\ i_3 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{u_1 u_2}{u_M} \end{bmatrix}$$
($\hat{=}$ Multiplizierer mit der Konstante u_M),
$$\begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ u_3 \end{bmatrix} = \underline{h}\begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \\ i_3 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{u_1}{u_2} \cdot u_D \end{bmatrix}$$
($\hat{=}$ Dividierer mit der Konstante u_D)

→ Die Eingangsspannungen u_1 und u_2 sind multipliziert, bzw. dividiert. Die Ausgangsspannung u_3 beträgt $\frac{u_1 u_2}{u_M}$, bzw. $\frac{u_1}{u_2} \cdot u_D$, versehen mit der Konstante u_M, bzw. u_D.