

Schaltungstheorie

Allgemeine

Konzentriertheithypothese

$$\lambda \gg d \quad \lambda = \frac{c}{f} \quad c \approx 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$$

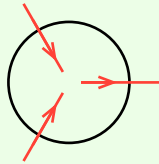
d: größte Bauteil Dimension

f: Maximal Frequenze

Kirchhoff

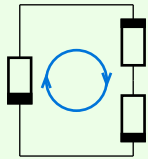
$$\text{KCL: } \sum_{k=1}^n i_k = 0$$

(Knotenregel)



$$\text{KVL: } \sum_{k=1}^n u_k = 0$$

(Maschenregel)



$u \cdot i > 0$: Nimmt Energie auf

$u \cdot i = 0$: Verlustlos

$u \cdot i < 0$: Gibt Energie ab

Verschaltung

$$\frac{1}{x_{\text{ges}}} = \frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2} + \frac{1}{x_3} + \dots$$

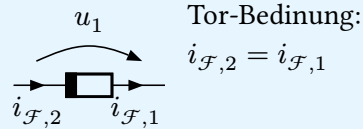
$$x_1 \parallel x_2 = \frac{1}{\frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2}} = \frac{x_1 x_2}{x_1 + x_2}$$

$$x_1 \parallel x_2 \parallel x_3 = \frac{x_1 x_2 x_3}{x_1 x_2 + x_1 x_3 + x_2 x_3}$$

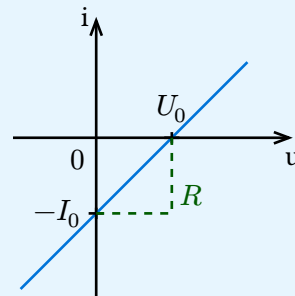
Serie	Reihe/Parrallel
$R_{\text{ges}} = R_1 + R_2$	$R_{\text{ges}} = R_1 \parallel R_2$
$G_{\text{ges}} = G_1 \parallel G_2$	$G_{\text{ges}} = G_1 + G_2$

$L_{\text{ges}} = L_1 + L_2$	$L_{\text{ges}} = L_1 \parallel L_2$
$C_{\text{ges}} = C_1 \parallel C_2$	$C_{\text{ges}} = C_1 + C_2$
$U_{\text{ges}} = U_1 + U_2$	$U_{\text{ges}} = U_1 = U_2$
$I_{\text{ges}} = I_1 = I_2$	$I_{\text{ges}} = I_1 + I_2$
In U -Richtung Addieren	In I -Richtung Addieren

Ein-Tor



Lineare Quelle



U_0 : LL-Spannung ($i = 0 \Rightarrow u = U_0$)

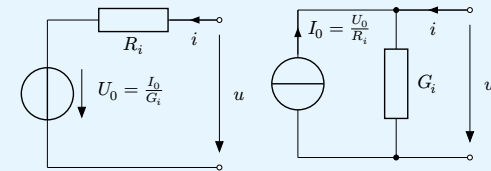
I_0 : KS-Strom ($u = 0 \Rightarrow i = -I_0$)

R_i : Innenwiderstand $R_i = \frac{U_0}{I_0}$

u -gesteuert	i -gesteuert

$u = R_i i + u_0$	$i = \frac{1}{R_i} u - I_0$
$\rightarrow$	
$\leftarrow$	

Quelle Wandlung



$$U_0 = I_0 R_i$$

$$I_0 = U_0 G_i$$

$$R_i = \frac{1}{G_i}$$

$$G_i = \frac{1}{R_i}$$

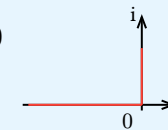
$$u = r(i) = R_i i + U_0 \quad i = g(u) = G_i u + I_0$$

Bauelemente

Zeichen Gleichung Abbildung

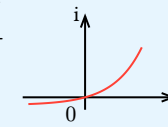
ideale Diode

$$u = 0 \text{ falls } i > 0 \text{ falls } u < 0$$



reale/pn Diode

$$u_D = u_T * \ln \left(\frac{i_D}{I_S} \right) + I_S * \left(e^{\frac{u_D}{u_T}} - 1 \right)$$

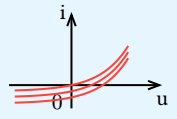


Zeichen Gleichung Abbildung

Photodiode



$$i = I_S * \left(e^{\frac{u_D}{u_T}} - 1 \right) - i_L$$



Zenerdiode

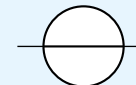


Durchbruch bei $u = U_Z$: $u \leq U_Z$ stark leitend

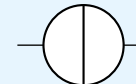
Tunneldiode



Spannungsquelle



Stromquelle



Widerstand



Induktivität



Kapazität



Kurzschluss

Zeichen	Gleichung	Abbildung
		Leerlauf
		Nullator
		Norator

$B : u_b \rightarrow$ Zweigspannungsbilanz = 0
 $B^T : i_m \rightarrow i_b$

$$B = \begin{matrix} \text{Maschen} \downarrow \\ \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1m} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nm} \end{bmatrix} \\ \text{Zweige} \rightarrow \end{matrix} b \in \{-1, 0, 1\}$$

-1: Gegen Maschenrichtung 1: In Maschenrichtung

KCL und KVL

KCL in Nullraum: $A i_b = 0$

KVL in Bildraum: $A^T u_k = u_b$

KVL in Nullraum: $B u_b = 0$

KCL in Bildraum: $B^T i_m = i_b$

Tellegen'sche Satz

$$AB^T = B^T A = 0$$

$$u_b^T i_b = 0$$

Graphen und Matrizen

i_b (oder i): Zweigstrom-Vektor

u_b (oder u): Zweigspannungs-Vektor

i_m : Maschenstrom-Vektor

(Strom in einer virtuellen Masche)

u_k : Knotenspannungs-Vektor

(Spannung zwischen Referenzknoten und Knoten k)

Knoteninzidenzmatrix A

$A : i_k \rightarrow$ Knotenstrombilanz = 0

$A^T : u_b \rightarrow u_k$

$$A = \begin{matrix} \leftarrow \text{Knoten} \\ \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nm} \end{bmatrix} \\ \text{Zweige} \rightarrow \end{matrix} a \in \{-1, 0, 1\}$$

-1: In Knoten rein

1: Aus Knoten raus

Mascheninsidenz Matrix B

Baumkonzept

KCLs: $n - 1$

KVLs: $b - (n - 1)$

Baum einzeichnen (Keine Schleifen!)

Tablbaummatrix

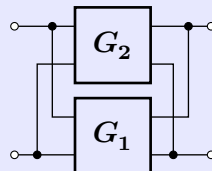
Maschenstrom-/Knotenpotenzial-Analyse

Reduzierte Knotenpotenzial-Analyse

Zweiter Verschaltung

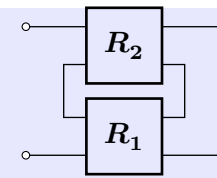
Parallel-Parallel

$$G_{\text{ges}} = G_1 + G_2$$



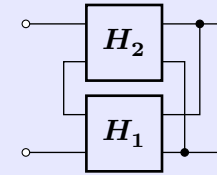
Seriell-Seriell

$$G_{\text{ges}} = G_1 + G_2$$



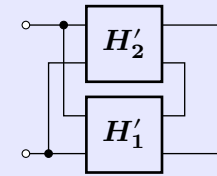
Seriell-Parallel

$$H_{\text{ges}} = H_1 + H_2$$



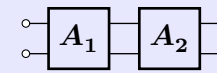
Parallel-Seriell

$$H'_{\text{ges}} = H'_1 + H'_2$$



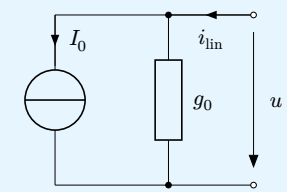
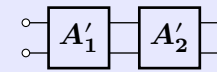
Kette normal

$$A_{\text{ges}} = A_1 \cdot A_2$$



Kette invers

$$A'_{\text{ges}} = A'_2 \cdot A'_1$$

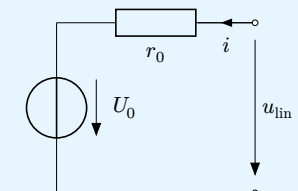


Klein-Signal: $i_{\text{lin}} = g_{\text{lin}}(u) = g'(u_{\text{AP}})u$

Spannungsgesteuert $g(u) = i$

$$u_{\text{lin}} = r_{\text{lin}}(i) = r'(i_{\text{AP}})(i - i_{\text{AP}}) + u_{\text{AP}}$$

$$U_0 = u_{\text{AP}} - r'(i_{\text{AP}})i_{\text{AP}}$$



Klein-Signal: $u_{\text{lin}} = r_{\text{lin}}(i) = r'(i_{\text{AP}})i$

Linearisierung (Ein-Tore)

1. Arbeitspunkt bestimmen

$$\text{AP} = (u_{\text{AP}}, i_{\text{AP}})$$

2. Ableitung $g_{\mathcal{F}}(u)/r_{\mathcal{F}}(i)$ bilden

$$g'_{\mathcal{F}}(u)/r'_{\mathcal{F}}(i)$$

Stromgesteuert $r(i) = u$

Groß-Signal:

$$i_{\text{lin}} = g_{\text{lin}}(u) = g'_{\mathcal{F}}(u_{\text{AP}})(u - u_{\text{AP}}) + i_{\text{AP}} =$$

$$g'_{\mathcal{F}}(u_{\text{AP}})u - g'_{\mathcal{F}}(u_{\text{AP}})u_{\text{AP}} + i_{\text{AP}}$$

$$I_0 = i_{\text{AP}} - g'_{\mathcal{F}}(u_{\text{AP}})u_{\text{AP}}$$

$$g_0 = g'_{\mathcal{F}}(u_{\text{AP}})u$$

Linearisierung (N-Tore)

1. Arbeitspunkt bestimmen $\begin{pmatrix} \underline{u}_{AP} \\ \underline{i}_{AP} \end{pmatrix} \hat{=}$
- $\begin{pmatrix} \underline{x}_{AP} \\ \underline{y}_{AP} \end{pmatrix}$
- $f_1(x_1, x_2, \dots, x_n) = y_1$
- $f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) = y_2$
- $\vdots$
- $f_n(x_1, x_2, \dots, x_n) = y_n$

$f(\underline{x}) = \underline{y}$

2. Ableitung: Jacobi-Matrix

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\delta y_1}{\delta x_1} & \frac{\delta y_1}{\delta x_2} & \dots & \frac{\delta y_1}{\delta x_n} \\ \frac{\delta y_2}{\delta x_1} & \frac{\delta y_2}{\delta x_2} & \dots & \frac{\delta y_2}{\delta x_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\delta y_n}{\delta x_1} & \frac{\delta y_n}{\delta x_2} & \dots & \frac{\delta y_n}{\delta x_n} \end{bmatrix}$$

Großsignal Beschreibung:

$\underline{y}_{lin} = J|_{\underline{x}_{AP}} (\underline{x}_{lin} - \underline{x}_{AP}) + \underline{y}_{AP}$

Kleinsignal Beschreibung:

$\underline{y}_{lin} = J|_{\underline{x}_{AP}} \underline{x}_{lin}$

Newton-Raphson (Eine-Tor)

$$x_{n+1} = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)}$$

Newton-Raphson (N-Tore)

Nicht lineare Beschreibung in Nullraum/
Impliziter Darstellung: $f(\underline{x}) = \underline{0}$

$$\underline{x}_{n+1} = \underline{x}_n - \left(J|_{\underline{x}_{AP}} \right)^{-1} f(\underline{x})$$

Reaktive Element

Zustandsgrößen

$$\begin{array}{l|l} [i(t)] = A & [u(t)] = V \\ [q(t)] = A s = C & [\Phi(t)] = A s = W b \end{array}$$

$$\begin{array}{l|l} q(t) = \int_{-\infty}^t i(\tau) d\tau & \Phi(t) = \int_{-\infty}^t u(\tau) d\tau \\ q(0) + \int_0^t i(\tau) d\tau & \Phi(0) + \int_0^t u(\tau) d\tau \end{array}$$

$$\begin{array}{l|l} i(t) = \frac{dq}{dt} = \dot{q}(t) & u(t) = \frac{d\Phi}{dt} \dot{\Phi}(t) \end{array}$$

$$W(t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} P(\tau) d\tau = \int_{t_1}^{t_2} u(\tau) i(\tau) d\tau$$

$$W(t_1, t_2) > 0: \text{Nimmt Energie auf}$$

$$W(t_1, t_2) = 0: \text{Verlustlos}$$

$$W(t_1, t_2) < 0: \text{Gibt Energie ab}$$

Reaktive Bauelemente

Kapazitiv

$q = c(u)$

$\chi(q) = u$

u, q stetig und
beschränkt

Induktivität

$\Phi = l(i)$

$i = \lambda(\Phi)$

i, Φ stetig und
beschränkt

Lineare Bauelemente

Kapazitiv

$q(t) = C \cdot u(t)$

$i(t) = C \cdot \frac{du}{dt}$

$[C] = F = \frac{As}{V}$

$E_C = \frac{q^2}{2} C = \frac{C}{2} u^2$

C : Admittanz $\hat{=}$ G

Admittanz: $Y = \frac{I}{U}$

Impedanz: $Z = \frac{U}{I}$

Induktivität

$\Phi(t) = L \cdot i(t)$

$u(t) = L \cdot \frac{di}{dt}$

$[L] = H = \frac{Vs}{A}$

$E_L = \frac{\Phi^2}{2} L = \frac{L i^2}{2}$

L : Impedanz $\hat{=}$ R

Reaktive Dualwandlung

$$\begin{array}{l|l} u \longrightarrow R_d i^d & i \longrightarrow \frac{u^d}{R_d} \\ q \longrightarrow \frac{\Phi^d}{R_d} & \Phi \longrightarrow q^d R_d \end{array}$$

Komplex Wechselstrom Rechnung

Im Eingeschwungenem Zustand

$u(t) = U_m \operatorname{Re}\{e^{j\omega t + \varphi}\}$

$u(t) = U_m \cos(\omega t + \alpha)$

$i(t) = I_m \cos(\omega t + \beta)$

$\frac{du}{dt} = A_m$

Kreisfrequenz: $\omega = 2\pi f$

Amplitude: A_m

Phasenverschieben: α

Ohm: $u(t) = R I_m \cos(\omega t + \beta) = \omega A_m \cos(\omega)$

Serienschaltung

$u_1(t) = U_1 \cos(\omega t)$

$u_2(t) = U_2 \cos(\omega t + \varphi)$

$u(t)_{ges} = u_1(t) + u_2(t) =$

$U_{ges}^2 = U_1^2 + 2U_1U_2 + U_2^2$

$\tan(\varphi) = \frac{U_2 \sin(\varphi)}{U_1 + U_2 \cos(\varphi)}$

Levi's Lustig Leistung

$P = \frac{1}{2} U \cdot I^*$

Scheinleistung	$(P_s =) \underline{S} $	[VA]
Wirkleistung	$(P_w =) P = \operatorname{Re}\{\}$	[W]
Blindleistung	$(P_b =) Q = \operatorname{Im}\{\}$	[var]

Bei Widerstand: R

$P_w = \frac{U_m^2}{2} R = \frac{I_m^2 R}{2}$

$P = \frac{1}{2} U I^* = \frac{1}{2} |U|^2 Y^* = \frac{1}{2} |I|^2 Z^*$

$U_{eff} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}, I_{eff} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$

Komplexe Zahlen

$\frac{1}{j} = j^{-1} = -j \quad j^2 = -1 \quad \sqrt{j} = \frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{1}{\sqrt{2}} j$

$z \in \mathbb{C} = a + bj \quad z = r \cdot e^{j\varphi}$

$z_0 + z_1 = (a_0 + a_1) + (b_0 + b_1)j$

$z_0 \cdot z_1 = (a_1 a_2 - b_1 b_2) + j(a_1 b_2 + a_2 b_1) = r_0 r_1 e^{j(\varphi_0 + \varphi_1)}$

$z^x = r^x \cdot e^{j\varphi \cdot x} \quad x \in \mathbb{R}$

$\frac{z_0}{z_1} = \frac{r_0}{r_1} e^{j(\varphi_0 - \varphi_1)}$

$z^* = a - jb = r e^{-j\varphi}$

$r = |z| \quad \varphi = \begin{cases} + \arccos(\frac{a}{r}) : b \geq 0 \\ - \arccos(\frac{a}{r}) : b < 0 \end{cases}$

Sin-Table

x	α	$\cos(x)$	$\sin(x)$	$\tan(x)$
0	0°	1	0	0
$\frac{\pi}{6}$	30°	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{\sqrt{3}}$
$\frac{\pi}{4}$	45°	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	1
$\frac{\pi}{3}$	60°	$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\sqrt{3}$
$\frac{\pi}{2}$	90°	0	1	x
$\frac{2\pi}{3}$	120°	$-\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$-\sqrt{3}$
$\frac{3\pi}{4}$	135°	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	-1
$\frac{5\pi}{6}$	150°	$-\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{\sqrt{3}}$
π	180°	-1	0	0
$\frac{7\pi}{6}$	210°	$-\frac{\sqrt{3}}{2}$	$-\frac{1}{2}$	$\frac{1}{\sqrt{3}}$
$\frac{5\pi}{4}$	225°	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	1
$\frac{4\pi}{3}$	240°	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\sqrt{3}$

$\frac{3\pi}{2}$	270°	0	-1	x
$\frac{5\pi}{3}$	300°	$\frac{1}{2}$	$-\frac{\sqrt{3}}{2}$	$-\sqrt{3}$
$\frac{7\pi}{4}$	315°	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	-1
$\frac{11\pi}{6}$	330°	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{\sqrt{3}}$
2π	360°	1	0	0

Name	Schaltbild	Ersatz-Schaltbild	Eigenschaften	Beschreibung	Knotenspannungs Analyse
Nullor				$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$	
OpAmp lin					
OpAmp $U_{\text{sat}+}$					
OpAmp $U_{\text{sat}-}$					
VCVS				$H' = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \mu & 0 \end{bmatrix} \quad A = \begin{bmatrix} \frac{1}{\mu} & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$	
VCCS				$G = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ g & 0 \end{bmatrix} \quad A = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{g} \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$	
CCVS				$R = \begin{bmatrix} 0 & 0 & r & 0 \end{bmatrix} \quad A = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \frac{1}{r} & 0 \end{bmatrix}$	
CCCS				$H = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \beta & 0 \end{bmatrix} \quad A = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{\beta} \end{bmatrix}$	
Übertrager					
Gyrator			• Antireziprok, Antisymmetrisch • Auch Positiv-Immitanz-Inverter	$R = \begin{bmatrix} 0 & -R_d \\ R_d & 0 \end{bmatrix} \quad G = \begin{bmatrix} 0 & G_d \\ -G_d & 0 \end{bmatrix}$ $A = \begin{bmatrix} 0 & R_d \\ \frac{1}{R_d} & 0 \end{bmatrix} \quad A' = \begin{bmatrix} 0 & -R_d \\ -\frac{1}{R_d} & 0 \end{bmatrix}$	
NIK				• Aktiv • Antireziprok • Symmetrisch für $k = 1$	$H = \begin{bmatrix} 0 & -k \\ -k & 0 \end{bmatrix} \quad H' = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{k} \\ -\frac{1}{k} & 0 \end{bmatrix}; A = \begin{bmatrix} -k & 0 \\ 0 & \frac{1}{k} \end{bmatrix} \quad A' = \begin{bmatrix} -\frac{1}{k} & 0 \\ 0 & k \end{bmatrix}$
T-Glied					
π -Glied					

Tor Eigenschaften

	Ein-Tor	Zwei-Tor	Reaktive Elemente
passiv (nimmt Energie auf) $\neg$ aktiv	$\forall (u, i) \in \mathcal{F} : u \cdot i \geq 0$	$\underline{U}^T \underline{I} + \underline{I}^T \underline{U}$ $\forall \begin{pmatrix} \underline{u} \\ \underline{v} \end{pmatrix} \in \mathcal{F} : \underline{u}^T \underline{i} \geq 0$	
verlustlos	$\forall (u, i) \in \mathcal{F} : u \cdot i = 0$	$\forall \begin{pmatrix} \underline{u} \\ \underline{v} \end{pmatrix} \in \mathcal{F} : \underline{u}^T \underline{i} = 0$	u/q -Plot: Wenn keine Schleifen i/Φ -Plot: Wenn keine Schleifen

	Ein-Tor	Zwei-Tor	Reaktive Elemente
	Kennline nur u/i -Achsen		u/i -Plot: Wenn Auf Achse Φ/q -Plot: Wenn auf Achse
linear	Kennline ist Gerade	Darstellbar: Matrix + Aufpunkt $\lambda_1 \begin{pmatrix} u_1 \\ i_1 \end{pmatrix} + \lambda_2 \begin{pmatrix} u_2 \\ i_2 \end{pmatrix} \in \mathcal{F}$	
quellenfrei	$(0 \text{ A}, 0 \text{ V}) \in \mathcal{F}$	$(0 \text{ A}, 0 \text{ V}) \in \mathcal{F}$	$(0 \text{ A}, 0 \text{ V}) \in \mathcal{F}$
streng linear	linear UND quellenfrei	linear UND quellenfrei Darstellbar: Nur Matrix	
ungepolt (Punkt sym.)	$(u, i) \in \mathcal{F} \Leftrightarrow (-u, -i) \in \mathcal{F}$ $g(u) = i, r(i) = u$	N/A	
symmetrisch $\Leftrightarrow$ Umkehrbar	N/A	$\mathbf{A} = \mathbf{A}'$ $\mathbf{G} = \mathbf{P}\mathbf{G}\mathbf{P}, \mathbf{R} = \mathbf{P}\mathbf{R}\mathbf{P}, \mathbf{P} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$ $\det(\mathbf{H}) = 1,$	
Reziprok	Immer Reziprok	$\mathcal{F}$ symmetrisch $\Rightarrow \mathcal{F}$ reziprok $\mathbf{U}^T \mathbf{I} - \mathbf{I}^T \mathbf{U} = 0$ $\mathbf{R}^T = \mathbf{R}, \mathbf{G}^T = \mathbf{G} \quad h_{21} = -h_{12}$ $\det(\mathbf{A}) = 1 \quad \det(\mathbf{A}') = 1 \quad h'_{21} = -h'_{12}$	
x-gesteuert	Existiert $r(i) = u/g(u) = i$	Existiert die Matrix? siehe Tabelle	
Alle Beschreibung	Klar	$\det(\mathbf{M}) \neq 0$, Alle Eintrag $\neq 0$	

Umrechnung Zweitormatrizen

In Out	$\mathbf{R}$	$\mathbf{G}$	$\mathbf{H}$	$\mathbf{H}'$	$\mathbf{A}$	$\mathbf{A}'$
$\mathbf{R}$	$\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} \\ r_{21} & r_{22} \end{bmatrix}$	$\mathbf{G}^{-1} = \frac{1}{\det(\mathbf{G})} \begin{bmatrix} g_{22} & -g_{12} \\ -g_{21} & g_{11} \end{bmatrix}$	$\frac{1}{h_{22}} \begin{bmatrix} \det(\mathbf{H}) & h_{12} \\ -h_{21} & 1 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{h'_{11}} \begin{bmatrix} 1 & -h'_{12} \\ h'_{21} & \det(\mathbf{H}') \end{bmatrix}$	$\frac{1}{a_{21}} \begin{bmatrix} a_{11} & \det(\mathbf{A}) \\ 1 & a_{22} \end{bmatrix}$	$\frac{1}{a'_{21}} \begin{bmatrix} a'_{22} & 1 \\ \det(\mathbf{A}') & a'_{11} \end{bmatrix}$
$\mathbf{G}$	$\mathbf{R}^{-1} = \frac{1}{\det(\mathbf{R})} \begin{bmatrix} r_{22} & -r_{12} \\ -r_{21} & r_{11} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{bmatrix}$	$\frac{1}{h_{11}} \begin{bmatrix} 1 & -h_{12} \\ h_{21} & \det(\mathbf{H}) \end{bmatrix}$	$\frac{1}{h'_{22}} \begin{bmatrix} \det(\mathbf{H}') & h'_{12} \\ -h'_{21} & 1 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{a_{12}} \begin{bmatrix} a_{22} & -\det(\mathbf{A}) \\ -1 & a_{11} \end{bmatrix}$	$\frac{1}{a'_{12}} \begin{bmatrix} a'_{11} & -1 \\ -\det(\mathbf{A}') & a'_{22} \end{bmatrix}$
$\mathbf{H}$	$\frac{1}{r_{22}} \begin{bmatrix} \det(\mathbf{R}) & r_{12} \\ -r_{21} & 1 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{g_{11}} \begin{bmatrix} 1 & -g_{12} \\ g_{21} & \det(\mathbf{G}) \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix}$	$\mathbf{H}'^{-1} = \frac{1}{\det(\mathbf{H}')} \begin{bmatrix} h'_{22} & -h'_{12} \\ -h'_{21} & h'_{11} \end{bmatrix}$	$\frac{1}{a_{22}} \begin{bmatrix} a_{12} & \det(\mathbf{A}) \\ -1 & a_{21} \end{bmatrix}$	$\frac{1}{a'_{11}} \begin{bmatrix} a'_{12} & 1 \\ -\det(\mathbf{A}') & a'_{21} \end{bmatrix}$

$\boldsymbol{H}'$	$\frac{1}{r_{11}} \begin{bmatrix} 1 & -r_{12} \\ r_{21} & \det(\boldsymbol{R}) \end{bmatrix}$	$\frac{1}{g_{22}} \begin{bmatrix} \det(\boldsymbol{G}) & g_{12} \\ -g_{21} & 1 \end{bmatrix}$	$\boldsymbol{H}^{-1} = \frac{1}{\det(\boldsymbol{H})} \begin{bmatrix} h_{22} & -h_{12} \\ -h_{21} & h_{11} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} h'_{11} & h'_{12} \\ h'_{21} & h'_{22} \end{bmatrix}$	$\frac{1}{a_{11}} \begin{bmatrix} a_{21} & -\det(\boldsymbol{A}) \\ 1 & a_{12} \end{bmatrix}$	$\frac{1}{a'_{22}} \begin{bmatrix} a'_{21} & -1 \\ \det(\boldsymbol{A}') & a'_{12} \end{bmatrix}$
$\boldsymbol{A}$	$\frac{1}{r_{21}} \begin{bmatrix} r_{11} & \det(\boldsymbol{R}) \\ 1 & r_{22} \end{bmatrix}$	$\frac{1}{g_{21}} \begin{bmatrix} -g_{22} & -1 \\ -\det(\boldsymbol{G}) & -g_{11} \end{bmatrix}$	$\frac{1}{h_{21}} \begin{bmatrix} -\det(\boldsymbol{H}) & -h_{11} \\ -h_{22} & -1 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{h'_{21}} \begin{bmatrix} 1 & h'_{22} \\ h'_{11} & \det(\boldsymbol{H}') \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}$	$\boldsymbol{A}'^{-1} = \frac{1}{\det(\boldsymbol{A}')} \begin{bmatrix} a'_{22} & a'_{12} \\ a'_{21} & a'_{11} \end{bmatrix}$
$\boldsymbol{A}'$	$\frac{1}{r_{12}} \begin{bmatrix} r_{22} & \det(\boldsymbol{R}) \\ 1 & r_{11} \end{bmatrix}$	$\frac{1}{g_{12}} \begin{bmatrix} -g_{11} & -1 \\ -\det(\boldsymbol{G}) & -g_{22} \end{bmatrix}$	$\frac{1}{h_{12}} \begin{bmatrix} 1 & h_{11} \\ h_{22} & \det(\boldsymbol{H}) \end{bmatrix}$	$\frac{1}{h'_{12}} \begin{bmatrix} -\det(\boldsymbol{H}') & -h'_{22} \\ -h'_{11} & -1 \end{bmatrix}$	$\boldsymbol{A}^{-1} = \frac{1}{\det(\boldsymbol{A})} \begin{bmatrix} a_{22} & a_{12} \\ a_{21} & a_{11} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} a'_{11} & a'_{12} \\ a'_{21} & a'_{22} \end{bmatrix}$
	$\boldsymbol{R}\underline{\boldsymbol{i}} = \underline{\boldsymbol{u}}$	$\boldsymbol{G}\underline{\boldsymbol{u}} = \underline{\boldsymbol{i}}$	$\boldsymbol{H} \begin{pmatrix} i_1 \\ u_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} u_1 \\ i_2 \end{pmatrix}$	$\boldsymbol{H}' \begin{pmatrix} u_1 \\ i_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} i_1 \\ u_2 \end{pmatrix}$	$\boldsymbol{A} \begin{pmatrix} u_2 \\ -i_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} i_1 \\ u_1 \end{pmatrix}$	$\boldsymbol{A}' \begin{pmatrix} u_1 \\ -i_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} i_2 \\ u_2 \end{pmatrix}$