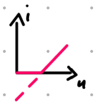
$u=R\cdot i \quad i=g\cdot u \quad R=\frac{u}{i} \quad g=\frac{i}{u} \quad \underbrace{p=R\cdot i^2}_{\geq 0} \quad \underbrace{p=g\cdot u^2}_{R\ \leq 0}$

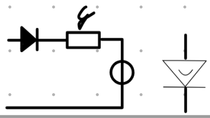
$u', i' = Q$
$u, i = L$

$u=0=KS \quad i=0=LL$

Konk.-& konv. Wid.

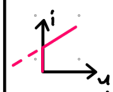
Konk.

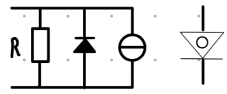




(g,u)

Konv.





(R,i)

Q. frei $=(0,0)$

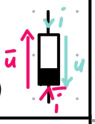
$i^d=\frac{u}{Rd} \quad u^d=i\cdot Rd$

LL $\quad$ KS

Schalter $\begin{cases} 1, \text{zu}, KS \\ 0, \text{offen}, LL \end{cases}$

Umpolung

$g_{\mp}(\bar{u})=-g_{\mathcal{F}}(-\bar{u})$
$v_{\mp}(\bar{i})=-v_{\mathcal{F}}(-\bar{i})$



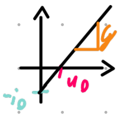
Diode
$u<0, i=0$
$u=0, i>0$

Parallel
$i_1+i_2 \quad u_1=u_2$
$R_1 \| R_2 \quad g_1+g_2$

Serie
$i_1=i_2 \quad u_1+u_2$
$R_1+R_2 \quad g_1 \| g_2$

$a\|b=\frac{a\cdot b}{a+b}$

Lin Quellen

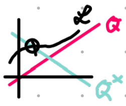


$y=m\cdot x$

$i'=g\cdot(u'-u_0)=g\cdot u'-i_0$

$i = \Sigma$ Str. $=$ Par. Str. Q
$u = \Sigma$ Sp. $=$ Ser. Sp. Q

$Q^* = Q(u,-i)$



AP finden

Fehlt: • Großsig. Ana.
• Kleinsignalanalyse
• Lin impl. Beschr.

Lin.

$\beta(a)\approx\beta(A)+\kappa\cdot(a-A)$

$u_{lin}\approx\frac{d v_{\mathcal{F}}(i)}{di}\Big|_{i=I}\cdot(i-I)+v_{\mathcal{F}}(I)$

$(sin(x)'=cos(x) \mid cos(x)'=-sin(x)$

$(f(x)*g(x))'=f(x)'*g(x)+g(x)'*f(x)$

$(f(x)\pm g(x))'=f(x)'\pm g(x)' \mid (c*f(x))'=c*f(x)'$

$\left(\frac{f(x)}{g(x)}\right)'=\frac{f(x)'*g(x)-f(x)*g(x)'}{g(x)^2}$

$(e^x)'=e^x$

$x'=1$

$k^x=\ln(k)\cdot k^x$

$k'=0$

$(x^n)'=n\cdot x^{n-1}$

$\ln(x)'=\frac{1}{x}$

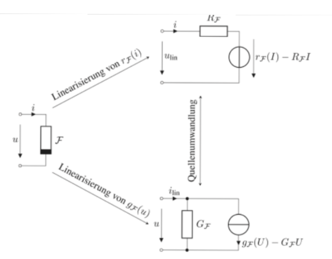


Abbildung 3.33: Linearisierung eines nichtlinearen Eintors $\mathcal{F}$

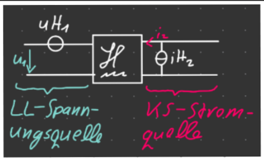
Matrix $A=\begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}$ $\det(A)=a\cdot d-b\cdot c$ $\quad A=\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \to a_{\text{Zeile Spalte}}$ $\quad \frac{1}{x}\to$ Matrix existiert if $x\neq 0$

Gegeben →

gesucht ↓

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

2-Tore



str. lin. & Q-frei
• 4 lin. un. Messungen
• Kernbeschr. gibt es immer
• Bildbeschr. $(\to 2$ Mess.)

$\begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix}=G\begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} g_{11}u_1+g_{12}u_2 \\ g_{21}u_1+g_{22}u_2 \end{bmatrix}$

$\begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix}=R\begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} r_{11}i_1+r_{12}i_2 \\ r_{21}i_1+r_{22}i_2 \end{bmatrix}$

$\begin{bmatrix} u_1 \\ i_2 \end{bmatrix}=H\begin{bmatrix} i_1 \\ u_2 \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} h_{11}i_1+h_{12}u_2 \\ h_{21}i_1+h_{22}u_2 \end{bmatrix}$

$\begin{bmatrix} i_1 \\ u_2 \end{bmatrix}=H'\begin{bmatrix} u_1 \\ i_2 \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} h'_{11}u_1+h'_{12}i_2 \\ h'_{21}u_1+h'_{22}i_2 \end{bmatrix}$

$\begin{bmatrix} u_1 \\ i_1 \end{bmatrix}=A\begin{bmatrix} u_2 \\ -i_2 \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} a_{11}u_2-a_{12}i_2 \\ a_{21}u_2-a_{22}i_2 \end{bmatrix}$

$\begin{bmatrix} u_2 \\ i_2 \end{bmatrix}=A'\begin{bmatrix} u_1 \\ -i_1 \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} a'_{11}u_1-a'_{12}i_1 \\ a'_{21}u_1-a'_{22}i_1 \end{bmatrix}$

$\begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix}=G\begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix}+\begin{bmatrix} i_{G1} \\ i_{G2} \end{bmatrix}$

$\begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix}=R\begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \end{bmatrix}+\begin{bmatrix} u_{R1} \\ u_{R2} \end{bmatrix}$

$\begin{bmatrix} u_1 \\ i_2 \end{bmatrix}=H\begin{bmatrix} i_1 \\ u_2 \end{bmatrix}+\begin{bmatrix} u_{H1} \\ i_{H2} \end{bmatrix}$

$\begin{bmatrix} i_1 \\ u_2 \end{bmatrix}=H'\begin{bmatrix} u_1 \\ i_2 \end{bmatrix}+\begin{bmatrix} i_{H'1} \\ u_{H'2} \end{bmatrix}$

$\begin{bmatrix} u_1 \\ i_1 \end{bmatrix}=A\begin{bmatrix} u_2 \\ -i_2 \end{bmatrix}+\begin{bmatrix} u_{A1} \\ i_{A1} \end{bmatrix}$

$\begin{bmatrix} u_2 \\ i_2 \end{bmatrix}=A'\begin{bmatrix} u_1 \\ -i_1 \end{bmatrix}+\begin{bmatrix} u_{A'2} \\ i_{A'2} \end{bmatrix}$

$g_{11}=\frac{i_1}{u_1}\Big\vert_{u_2=0}$	Eingangsleitwert (1. Tor) bei kurzgeschlossenem Ausgang (2. Tor)	$r_{11}=\frac{u_1}{i_1}\Big\vert_{i_2=0}$	Eingangswiderstand bei leerlaufendem Ausgang
$g_{22}=\frac{i_2}{u_2}\Big\vert_{u_1=0}$	Ausgangsleitwert bei kurzgeschlossenem Eingang	$r_{22}=\frac{u_2}{i_2}\Big\vert_{i_1=0}$	Ausgangswiderstand bei leerlaufendem Eingang
$g_{21}=\frac{i_2}{u_1}\Big\vert_{u_2=0}$	Vorwärtstransferleitwert bei kurzgeschl. Ausgang	$r_{21}=\frac{u_2}{i_1}\Big\vert_{i_2=0}$	Vorwärtstransferwiderstand bei leerlaufendem Ausgang
$g_{12}=\frac{i_1}{u_2}\Big\vert_{u_1=0}$	Rückwärtstransferleitwert bei kurzgeschl. Eingang	$r_{12}=\frac{u_1}{i_2}\Big\vert_{i_1=0}$	Rückwärtstransferwiderstand bei leerlaufendem Eingang

Transfer → wie sich ein Tor auf das andere auswirkt

Rise
Run

nicht Q-freies lin. 2-Tor
• str. lin. 2-Tor + lin. Q.

$F=[\underset{\sim}{M}, \underset{\sim}{N}]\cdot\begin{bmatrix} u-u_0 \\ i-i_0 \end{bmatrix}$ 3 Messungen

$\begin{bmatrix} u \\ i \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} u \\ i \end{bmatrix}\cdot c+\begin{bmatrix} u_0 \\ i_0 \end{bmatrix}$

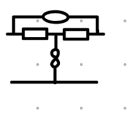
VCCS $\quad G=\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ g & 0 \end{bmatrix} \quad A=\begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{g} \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$

CCCS $\quad H=\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \beta & 0 \end{bmatrix} \quad A=\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{\beta} \end{bmatrix}$

VCVS $\quad H'=\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \mu & 0 \end{bmatrix} \quad A=\begin{bmatrix} \frac{1}{\mu} & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$

CCVS $\quad R=\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ r & 0 \end{bmatrix} \quad A=\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \frac{1}{r} & 0 \end{bmatrix}$

NIK
$R_1=-R_2$
$A=\begin{bmatrix} -k & 0 \\ 0 & \frac{1}{k} \end{bmatrix}$



Lin. 2-Tore

$\underset{\sim}{J}=\begin{bmatrix} \frac{\delta h_1(i_1,u_2)}{\delta i_1} & \frac{\delta h_1(i_1,u_2)}{\delta u_2} \\ \frac{\delta h_2(i_1,u_2)}{\delta i_1} & \frac{\delta h_2(i_1,u_2)}{\delta u_2} \end{bmatrix}$

Verlustlos
$\underset{\sim}{U}^T\cdot\underset{\sim}{I}+\underset{\sim}{I}^T\cdot\underset{\sim}{U}=0$

Nullor $\quad$ 0 ∞ $=$ Gesd. Q.

$1:\ddot{u}$

Übertrager $\quad$ Rez. & Verlustlos

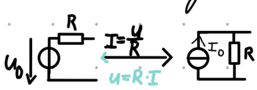
$\underset{\sim}{U}^T\underset{\sim}{I}=0 \quad H=\begin{bmatrix} 0 & \ddot{u} \\ -\ddot{u} & 0 \end{bmatrix} \quad A=\begin{bmatrix} \ddot{u} & 0 \\ 0 & \frac{1}{\ddot{u}} \end{bmatrix}$

Gyrator $\quad$ nicht Rez. & verlustlos

$\underset{\sim}{R}=-\underset{\sim}{R}^T \quad R=\begin{bmatrix} 0 & -Rd \\ Rd & 0 \end{bmatrix} \quad A=\begin{bmatrix} 0 & +Rd \\ \frac{1}{Rd} & 0 \end{bmatrix}$

• $\text{Tor}_1=\text{Tor}_2^d$

Quellenwandlung



Symmetrie
$P=\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$
Symm. if
$\underset{\sim}{M}=\underset{\sim}{P}\cdot\underset{\sim}{M}\cdot\underset{\sim}{P}$

Rez.
R & G $\Rightarrow b=c$
$H\Rightarrow b=-c$
$A\Rightarrow \text{Det}=1$

$\underset{\sim}{u}^T\cdot\underset{\sim}{I}-\underset{\sim}{I}^T\underset{\sim}{u}=0$

Sp. Teiler

Serie

$u_1=\frac{R_1}{R_g}\cdot u_g$

$u_1=\frac{g_2}{g_1+g_2}\cdot u_g$

Str. Teiler

Para.

$i_1=\frac{g_1}{g_g}\cdot i_g$

$i_{1,lin}=\underbrace{\frac{\partial g_1(u_1,u_2)}{\partial u_1}\Big|_{u=U}(u_1-U_1)+\frac{\partial g_1(u_1,u_2)}{\partial u_2}\Big|_{u=U}(u_2-U_2)}_{\Delta i_1}+I_1$

$i_{2,lin}=\underbrace{\frac{\partial g_2(u_1,u_2)}{\partial u_1}\Big|_{u=U}(u_1-U_1)+\frac{\partial g_2(u_1,u_2)}{\partial u_2}\Big|_{u=U}(u_2-U_2)}_{\Delta i_2}+I_2$

$G_{\sim}=\begin{bmatrix} \frac{\partial g_1(u)}{\partial u_1} & \frac{\partial g_1(u)}{\partial u_2} \\ \frac{\partial g_2(u)}{\partial u_1} & \frac{\partial g_2(u)}{\partial u_2} \end{bmatrix}\Bigg|_{u=U}$

2-Tor lin
↓
Lin. nicht Q-frei 2-Tor