HF II Formelsammlung: (Stand Januar 2000)

FORMELSAMMLUNG aus HF1

Skineffekt beim ebenen Leiter $i(x) := i(0)\cdot e^{\frac{-x}{d}}$ Eindringtiefe δ: $d := \sqrt{\frac{1}{p\cdot f\cdot m\cdot k}}$

langgestreckter Runddraht: $R := \frac{1}{k\cdot d\cdot D\cdot p}$ induktiver Anteil: $\overline{Z} := R\cdot(1+i)$

Eigeninduktivität RL s Glied : $\overline{Z_1} := R + i\cdot w\cdot l$ z.B. Zyl. Leiter: K = (I / 2πr) $H = k\cdot I$

$$L_s := m\cdot\int_V k^2\, dV$$

Eigenkapazität RC p Glied : $\overline{Y_2} := \frac{1}{R} + i\cdot w\cdot C_p$ falls wRCp < 0.1 : ZR = ca R*(1-jwRCp)

$$\overline{Z_2} := R\cdot\left[\frac{1}{\left[1+(w\cdot R\cdot C_p)^2\right]} - i\cdot\frac{w\cdot R\cdot C_p}{\left[1+(w\cdot R\cdot C_p)^2\right]}\right]$$

Gesamtimpedanz ungefähr : $\overline{Z} := R + i\cdot w\cdot\left(L_s - R^2\cdot C_p\right)$

Kompensation d. Blindwiderstandes: $L_s := R^2\cdot C_p$ $R := \sqrt{\frac{L_s}{C_p}}$

Eigeninduktivität bei Kondensatoren:

$´C := \frac{C}{1 - w^2\cdot L_s\cdot C}$ mit $´C \ge C$ $f_R := \frac{1}{2\cdot p\cdot\sqrt{L_s\cdot C}}$

Verlustfaktor eines Kondensators: $\tan(d_c) := \frac{P}{Q}$ = ungefähr: $\frac{R_s}{|X_c|}$

frequenzabhängiger Widerstand: $R_s := \frac{1}{wC}\cdot\tan(d_c)$ $\frac{1}{wC} := |X_c|$

Eigenkapazität bei Spulen: $´L = \frac{L}{1 - w^2\cdot L\cdot C_p}$ $f_R := \frac{1}{2\cdot p\cdot\sqrt{L\cdot C_p}}$

Verlust bei Spulen: $R_s := 2\cdot\frac{P}{I^2}$ $\tan(d_L) := \frac{R_s}{w\cdot L}$

Güte $Q_L = \frac{1}{\tan(d_L)}$ $Q_L := \frac{w\cdot L}{R_s}$

Kapitel 1.2 Passive lineare Schaltungen

$$\overline{Z} = \frac{1}{\overline{Y}} = \frac{1}{G + i\cdot B} := \frac{G}{G^2 + B^2} - i\cdot\frac{B}{\left(G^2 + B^2\right)} = R + i\cdot X$$

Breitbandkompensation: X_s = ungefähr $R^2\cdot B_p$ (Bedingung)

$\sqrt{X_s\cdot B_p} < 1$ (Frequenzbereich)

Tiefpaßkompensation: $L := R^2\cdot C$ $f_g := \frac{1}{2\cdot p\cdot\sqrt{L\cdot C}}$ $f_g := \frac{1}{2\cdot p\cdot RC}$

Hochpaßkompensation: $C := \frac{L}{R^2}$ $f_g := \frac{1}{2\cdot p\cdot\sqrt{L\cdot C}}$ $f_g := \frac{1}{2\cdot p\cdot\frac{L}{R}}$

Bandpaßkompensation: $f_R = \frac{1}{2\cdot p\cdot\sqrt{L_s\cdot C_s}}$ $f_R := \frac{1}{2\cdot p\cdot\sqrt{L_p\cdot C_p}}$

$R^2 = \frac{X_s}{B_p}$ $R^2 := \sqrt{\frac{L_s\cdot L_p}{C_s\cdot C_p}}$ $R^2 = \frac{L_p}{C_s}$ $R^2 := \frac{L_s}{C_p}$

$\frac{1}{K} := \frac{L_s}{L_p}$ $\frac{1}{K} := \sqrt{\frac{L_s\cdot C_p}{C_s\cdot L_p}}$

$$f_{g1,2} := \frac{1}{2}\cdot f_R\cdot\left(\sqrt{k+4} + -\sqrt{k}\right)$$

Kapitel 1.3. Hochfrequenzleitungen

$i\cdot b := i\cdot\frac{2\cdot p}{l}$ mit $l = \frac{c}{f}$ aus $\overline{r} := a\cdot e^{1\, ib}$ [β] = 1/m

Wellenamplituden bei dämpfungsfreien Leitungen:

$\overline{a}(z) := \overline{a}(0)\cdot e^{i\cdot bz}$ $\overline{b}(z) := \overline{b}(0)\cdot e^{-i\cdot bz}$

$\overline{a}(0) := \overline{a_0}$ $\overline{b}(0) := \overline{b_0}$

$\overline{U}(z) := \sqrt{\overline{z_0}}\cdot\left[\overline{a}(z) + \overline{b}(z)\right]$ $\overline{I}(z) = \frac{1}{\sqrt{\overline{z_0}}}\cdot\left[\overline{a}(z) - \overline{b}(z)\right]$

$\overline{a}(z) := \frac{1}{2}\cdot\left[\frac{\overline{U}(z)}{\sqrt{\overline{z_0}}} + \overline{I}(z)\cdot\sqrt{\overline{z_0}}\right]$ $\overline{b}(z) := \frac{1}{2}\cdot\left[\frac{\overline{U}(z)}{\sqrt{\overline{z_0}}} - \overline{I}(z)\cdot\sqrt{\overline{z_0}}\right]$

$P := \frac{1}{2}\cdot\mathrm{Re}\left[\overline{U}\cdot\left(\overline{I}\right)^{\mathrm{Stern}}\right]$ $P := \frac{1}{2}\cdot\left[\left|\left(\overline{a_0}\right)\right|^2 - \left|\left(\overline{b_0}\right)\right|^2\right]$

(transportierte Leistung)

Reflexionsfaktor am Leitungsende:

$\overline{r} := \frac{\overline{b}(0)}{\overline{a}(0)}$ $|\overline{r}| \le 1$ $\overline{r} := \frac{\overline{z} - \overline{z_0}}{\overline{z} + \overline{z_0}}$ $\overline{z} := z_0\cdot\frac{1+\overline{r}}{1-\overline{r}}$

Kurzschluß am Leitungsende:

$\overline{U}(z) := 2\cdot\sqrt{\overline{z_0}}\cdot\overline{a_0}\cdot i\cdot\sin(b\cdot z)$ $\overline{I}(z) := \frac{2\,\overline{a_0}}{\sqrt{\overline{z_0}}}\cdot\cos(b\cdot z)$

$\overline{z}(l) := i\cdot z_0\cdot\tan(b\cdot l)$

Leerlauf am Leitungsende:

$\overline{U}(z) := 2\cdot\sqrt{\overline{z_0}}\cdot\overline{a_0}\cdot i\cdot\cos(b\cdot z)$ $\overline{I}(z) := i\cdot\frac{2\,\overline{a_0}}{\sqrt{\overline{z_0}}}\cdot\sin(b\cdot z)$

$\overline{z}(l) := \frac{-i\cdot z_0}{\tan(bl)}$

Wellenwiderstand am Leitungsende:

$\overline{U}(z) := \sqrt{\overline{z_0}}\cdot\overline{a_0}\cdot e^{i\cdot b\cdot z}$ $\overline{I}(z) = \frac{1}{\sqrt{\overline{z_0}}}\cdot\overline{a_0}\cdot e^{i\cdot b\cdot z}$ $\overline{z}(l) := z_0$

Allgemeiner Leitungsabschluß:

$\overline{z}(l) := z_0\cdot\frac{\overline{a}(l) + \overline{b}(l)}{\overline{a}(l) - \overline{b}(l)}$ $\overline{z}(l) := z_0\cdot\frac{\frac{\overline{z}(0)}{z_0} + i\cdot\tan(b\cdot l)}{1 + i\cdot\frac{\overline{z}(0)}{z_0}\cdot\tan(b\cdot l)}$

$\overline{r(l)} := \frac{\overline{b_0}}{a_0}\cdot e^{-i\cdot 2\cdot b\cdot l}$ $\overline{r} := \left[\overline{r}(l)\right]\cdot e^{i\cdot 2\cdot b\cdot l}$

Vergleich der Sonderfälle:

Anpassung Z(0) = Z
r=0 s=1 m=1

Kurzschluß Z(0) = 0
r=-1 s=∞ m=0
(alles zurück)

Leerlauf Z(0) = oo
r=1 s= ∞ m=0
(alles zurückohne Phasensprung)

λ/2 Leitung -> keine Änderung an Y
λ/4 Leitung ->Betrag bleibt, Phase dreht um 180 Grad, Y

Kapitel 2. Beschreibung von linearen Schaltungen mit r und s

Spannungsquelle :

$$\overline{r}_g := \frac{\overline{z}_g - z_0}{\overline{z}_g + z_0} \qquad \overline{b} := \overline{b}_s \qquad \overline{b}_s := \overline{U}_s \cdot \frac{\sqrt{z_0}}{\sqrt{\overline{z}_g + z_0}}$$

Stromquelle :

$$\overline{r}_g := \frac{Y_0 - \overline{Y}_g}{Y_0 + \overline{Y}_g} \qquad \text{mit} \quad Y_0 := \frac{1}{z_0} \qquad \overline{b}_s := \overline{I}_s \cdot \frac{\sqrt{Y_0}}{Y_0 + \overline{Y}_g}$$

S - Matrix :

$$\begin{bmatrix} \overline{b}_1 \\ \overline{b}_2 \end{bmatrix} := \begin{bmatrix} \overline{S}_{11} & \overline{S}_{12} \\ \overline{S}_{21} & \overline{S}_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \overline{a}_1 \\ \overline{a}_2 \end{bmatrix}$$

S11, S22, ...

$$\overline{S}_{11} := \frac{\overline{b}_1}{\overline{a}_2} \quad \text{<= 1} \quad \text{für a2=0}$$

Reflexionsfaktor an Tor 1 , wenn lastseitig reflexionsfrei abgeschlossen ist.

Zur Berechnung : Abschließen mit Last $Z = Z_0$

$$\overline{S}_{12} = \frac{\overline{b}_1}{\overline{a}_2} \quad \text{für a1=0}$$

Übertragungsfaktor "rückwärts wenn Eingang reflexionsfrei abgeschlossen

$$\overline{S}_{12} = \frac{1}{F} \cdot \left(1 + \overline{S}_{11}\right)$$

Kapitel 3. Leistung einer HF-Quelle

$$P := \frac{1}{2} \cdot \left|\overline{b}_s\right| \cdot \frac{1 - \left(\left|r_L\right|\right)^2}{\left(\left|1 - \overline{r}_g \cdot r_L\right|\right)^2}$$

für P = Pmax $\quad -f_g = f_L \quad$ somit $\quad \left|\overline{r}_L\right| = \left|\overline{r}_g\right| \quad$ somit $\quad r_L = \left(\overline{r}_g\right)^{stern}$

somit $\quad P_{max} := \frac{1}{2} \cdot \left(\overline{b}_s\right)^2 \cdot \frac{1}{1 - \left(\left|\overline{r}_g\right|\right)^2} \quad$ somit $\quad P_{max} := P_V$

Kapitel 4. Leistungsübertragung eines Zweitores

$$\overline{r}_E := \overline{S}_{11} + \frac{\overline{S}_{12} \cdot \overline{S}_{21} \cdot \overline{r}_L}{1 - \overline{S}_{22} \cdot \overline{r}_L} \qquad \overline{r}_A := \overline{S}_{22} + \frac{\overline{S}_{12} \cdot \overline{S}_{21} \cdot \overline{r}_g}{1 - \overline{S}_{22} \cdot \overline{r}_g}$$

Spannungsverstärkung $\overline{v}_u := \frac{\overline{S}_{21}}{1 - \overline{S}_{22} \cdot \overline{r}_L} \cdot \frac{\overline{r}_L + 1}{1 + \overline{r}_E}$

Stromverstärkung $\overline{v}_i := \frac{\overline{S}_{21}}{1 - \overline{S}_{22} \cdot \overline{r}_L} \cdot \frac{\overline{r}_L - 1}{1 - \overline{r}_E}$

Klemmenleistungsverstärkung $G = \frac{\left(\overline{S}_{21}\right)^2}{\left(\left|1 - \overline{S}_{22} \cdot \overline{r}_L\right|\right)^2} \cdot \frac{1 - \left(\left|\overline{r}_L\right|\right)^2}{1 - \left(\left|\overline{r}_E\right|\right)^2}$

verfügbare Leistungsverstärkung $G_v = \frac{1 - \left(\overline{r}_g\right)^2}{\left(\left|1 - \overline{S}_{11} \cdot \overline{r}_g\right|\right)^2} \cdot \frac{1}{1 - \left(\left|\overline{r}_A\right|\right)^2} \cdot \left(\left|\overline{S}_{21}\right|\right)^2$

Kapitel 4. Leistungsübertragung eines Zweitores (Fortsetzung)

Übertragunsleistungsverstärkung $G_T := \frac{1 - \left(\overline{r}_g\right)^2}{\left(\left|1 - \overline{S}_E \cdot \overline{r}_g\right|\right)^2} \cdot \frac{1 - \left(\left|\overline{r}_L\right|\right)^2}{\left(1 - \overline{S}_{22} \left|\overline{r}_L\right|\right)^2} \cdot \left(\left|\overline{S}_{21}\right|\right)^2$

$$\overline{r}_g := \frac{A_1 - \sqrt{\left(A_1\right)^2 - \left(\left|2 \cdot \overline{B}_1\right|\right)^2}}{2 \cdot \overline{B}_1} \qquad \overline{r}_L := \frac{A_2 - \sqrt{\left(A_2\right)^2 - \left(\left|2 \cdot \overline{B}_2\right|\right)^2}}{2 \cdot \overline{B}_2}$$

$$A_1 := 1 + \left(\left|\overline{S}_{11}\right|\right)^2 - \left(\left|\overline{S}_{22}\right|\right)^2 - \left(\left|\det\left(\overline{S}\right)\right|\right)^2$$

$$A_2 := 1 + \left(\left|\overline{S}_{22}\right|\right)^2 - \left(\left|\overline{S}_{11}\right|\right)^2 - \left(\left|\det\left(\overline{S}\right)\right|\right)^2$$

$$\overline{B}_1 := \overline{S}_{11} - \left(\overline{S}_{22}\right)^{stern} \cdot \det\left(\overline{S}\right) \qquad \overline{B}_2 := \overline{S}_{22} - \left(\overline{S}_{11}\right)^{stern} \cdot \det\left(\overline{S}\right)$$

$$\left(G_T\right)^{max} = \frac{\overline{S}_{21}}{\overline{S}_{12}} \cdot \left(k - \sqrt{k^2 - 1}\right) \qquad k = \frac{1 + \left(\left|\det\left(\overline{S}\right)\right|\right)^2 - \left(\left|\overline{S}_{11}\right|\right)^2 - \left(\left|\overline{S}_{22}\right|\right)^2}{2 \cdot \left|\overline{S}_{12}\right| \cdot \left|\overline{S}_{21}\right|}$$

Kapitel 5. Stabilitätskreise

$$\overline{M}_e = \overline{S}_{11} + \left(\overline{S}_{22}\right)^{stern} \cdot \frac{\overline{S}_{12} \cdot \overline{S}_{21}}{1 - \left(\left|\overline{S}_{22}\right|\right)^2} \qquad R_E = \frac{\left|\overline{S}_{12}\right| \cdot \left|\overline{S}_{21}\right|}{1 - \left(\left|\overline{S}_{22}\right|\right)^2}$$

$$\overline{M}_a = \overline{S}_{22} + \left(\overline{S}_{11}\right)^{stern} \cdot \frac{\overline{S}_{12} \cdot \overline{S}_{21}}{1 - \left(\left|\overline{S}_{11}\right|\right)^2} \qquad R_A := \frac{\left|\overline{S}_{12}\right| \cdot \left|\overline{S}_{21}\right|}{1 - \left(\left|\overline{S}_{11}\right|\right)^2}$$

Stabilität $\quad \left|S_{12}\right| = 0 \quad$ und $\quad k \geq 1$

Kapitel 6.1 Rechenregeln mit komplexen Zahlen

$$\overline{Z} := a + i \cdot b \qquad \overline{Z} := \cos(f) + i \cdot \sin(f)$$

$$\left|\overline{Z}\right| = \sqrt{a^2 + b^2} \qquad f := \arctan\left(\frac{\operatorname{Im}\left(\overline{Z}\right)}{\operatorname{Re}\left(\overline{Z}\right)}\right) \qquad \overline{Z} := \left|\overline{Z}\right| \cdot e^{i \cdot f}$$

$$\overline{Z}_1 + \overline{Z}_2 := a_1 + a_2 + i \cdot \left(b_1 + b_2\right) \qquad \overline{Z}_1 - \overline{Z}_2 := a_1 - a_2 + i \cdot \left(b_1 - b_2\right)$$

$$\overline{Z}_1 \cdot \overline{Z}_2 := \left|\left(\overline{Z}_1\right)\right| \cdot \left|\overline{Z}_2\right| + e^{i \cdot \left(f_1 + f_2\right)}$$

$$\frac{\overline{Z}_1}{\overline{Z}_2} := \frac{\left|\overline{Z}_1\right|}{\left|\overline{Z}_2\right|} + e^{i \cdot \left(f_1 - f_2\right)} \qquad \left(\overline{Z}\right)^n := \left(\left|\overline{Z}\right|\right)^n \cdot e^{i \cdot n}$$

$\overline{Z} := \frac{a + i \cdot b}{c + i \cdot d}$ komplex konj. erweitern -> $\overline{Z} := \frac{a \cdot c + b \cdot d + i \cdot (b \cdot c - a \cdot d)}{c^2 + d^2}$

Kapitel 6.2. Elektronische Bauteile

Spulen: $\quad m_0 = 1.256 \cdot 10^{-6} \frac{Vs}{Am}$

Zylinderspule $\quad L := \frac{N^2 \cdot m_0 \cdot m_r \cdot A}{l_m} \qquad$ Ringspule $\quad L = m_0 \cdot m_r \cdot \frac{N^2 \cdot A}{2 \cdot p \cdot R_m}$

Kondensator: $\quad e_r = 8.85 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{As}{Vm} \qquad$ Plattenkondensator: $\quad C = e_0 \cdot e_r \cdot \frac{A}{s}$

Zylinderkondensator: $\quad C = e_0 \cdot e_r \cdot \frac{2 \cdot p \cdot l}{\ln\left(\frac{r_a}{r_c}\right)} \qquad$ Block: $\quad C = e_0 \cdot e_r \cdot \frac{l \cdot b}{s}$

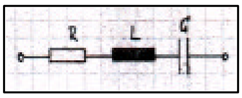
Kapitel 7. Determinante einer Matrix 2x2

$$\mathbf{M} := \begin{bmatrix} \overline{a_{11}} & \overline{a_{12}} \\ \overline{a_{21}} & \overline{a_{22}} \end{bmatrix} \qquad \det(\mathbf{M}) := \overline{a_{11}} \cdot \overline{a_{22}} - \overline{a_{12}} \cdot \overline{a_{21}}$$

Kapitel 7.1 Netzwerke

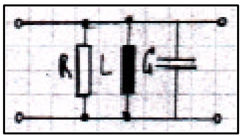
Rs·Ls·Cs – Glied

$$\overline{Z_s} := \frac{1}{R} + i \cdot w \cdot L - i \cdot \frac{1}{w \cdot C}$$



Rp·Lp·Cp – Glied

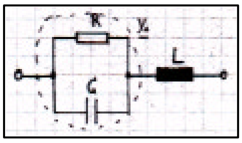
$$\overline{Y_p} := G + \frac{1}{x_c} + \frac{1}{x_L}$$



mit $G := \frac{1}{R}$ $\quad x_c := \frac{1}{i \cdot w \cdot C}$ $\quad x_L := i \cdot w \cdot L$

Rp·Cp·Ls – Glied

$$\overline{Y_1} := \left(\frac{1}{R} + i \cdot w \cdot C\right)$$



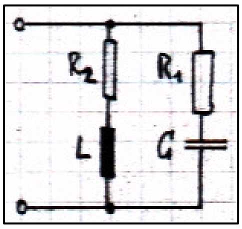
$$\overline{Z_{ges}} := \overline{Z_1} + i \cdot w \cdot L$$

R_2·L II R_1·C – Glied

$$\overline{Z_1} := R_1 - i \cdot \frac{1}{w \cdot C}$$

$$\overline{Z_2} := R_2 + i \cdot w \cdot L$$

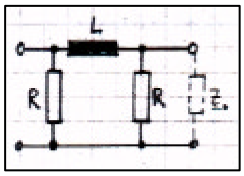
$$\overline{Z_{ges}} := \frac{\overline{Z_1} \cdot \overline{Z_2}}{\overline{Z_1} + \overline{Z_2}}$$



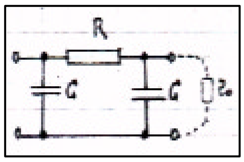
Kapitel 7.1 Netzwerke (Fortsetzung)

P - Schaltung

$$\overline{Y_e} := \frac{1}{\overline{Z_1}} + \frac{1}{\overline{Z_3} + \frac{1}{\frac{1}{\overline{Z_2}} + \frac{1}{Z_0}}}$$



$$\overline{F} := \frac{1}{1 + \frac{\overline{Z_3}}{\overline{Z_1}} + \frac{\overline{Z_3}}{Z_0}}$$

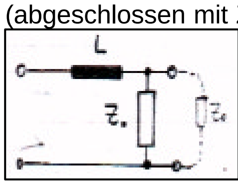


z.B. mit C-R-C:

$$\overline{Y_{CRC}} := i \cdot w \cdot C + \frac{1}{R + \frac{1}{Y_0 + i \cdot w \cdot C}}$$

L·Z_0 – Glied

(abgeschlossen mit Z0



$$\overline{Z_{ges}} := i \cdot w \cdot L + \frac{Z_0}{2}$$

Kapitel 8. Streifenleitungen

Erinnerung an Koaxkabel :

Wellenlänge auf der Leitung: $l_L := \frac{l_0}{\sqrt{e_r}}$ Wellenlänge im Vakuum: $l_0 := \frac{c_0}{f}$

Eigenschaften von Streifenleitern (Näherungen):

$e_{r,Luft} := 1$ $\qquad 1 < e_{r,eff} < e_r$

Kapitel 8. Streifenleitungen (Fortsetzung)

für $\frac{w}{h} \le 1$ $\qquad e_{r,eff} := \frac{e_r + 1}{2} + \frac{e_r - 1}{2} \cdot \left[\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \cdot \frac{h}{w}}} + 0.04 \cdot \left(1 - \frac{w}{h}\right)^2\right]$

für $\frac{w}{h} > 1$ $\qquad e_{r,eff} := \frac{e_r + 1}{2} + \frac{e_r - 1}{2} \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \cdot \frac{h}{w}}}\right)$

Wellenwiderstand (Näherungen):

für $\frac{w}{h} \le 1$ $\qquad Z_L := \frac{60}{\sqrt{e_{r,eff}}} \cdot \ln\left(8 \cdot \frac{h}{w} + \frac{1}{4} \cdot \frac{w}{h}\right)$ $\qquad [\Omega]$

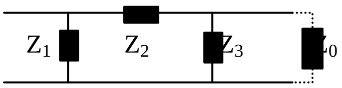
für $\frac{w}{h} > 1$ $\qquad Z_L := \frac{1}{\sqrt{e_{r,eff}}} \cdot \frac{120 \cdot p}{1.393 + \frac{w}{h} + 0.667 \cdot \ln\left(1.44 + \frac{w}{h}\right)}$ $\qquad [\Omega]$

Wellenlänge auf der Leitung:

$l_L := \frac{l_0}{\sqrt{e_{r,eff}}}$ (wie Koaxkabel)

Π - Schaltung:

$$Y_e := \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_3 + \frac{1}{\frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_0}}}$$



S Matrix : wenn symmetrisch:

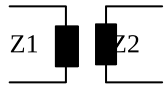
$S_{21} = S_{12}$

$S_{11} = S_{22}$

Spule $x_L := i \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$

Kondensator $x_c := -i \cdot \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$

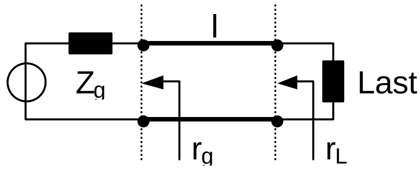
Übertrager



$$\ddot{U} := \frac{\sqrt{Z_2}}{\sqrt{Z_1}}$$

Transformation in Richtung Last:

$\overline{r}_g := \frac{\overline{z}_g - z_0}{\overline{z}_g + z_0}$ mit $\beta := \frac{2 \cdot \pi}{\lambda}$ ist $\overline{r}_L := \overline{r}_g \cdot e^{i \cdot 2 \cdot \pi \cdot l}$



<u>Signalflußgraph:</u>

Wellenamplituden = **Knoten**
Knoten sind durch Zweige verbunden.
Zweige = **S – Parameter**
Zweige verlaufen von unabhängigen Knoten zu abhängigen Knoten (gek. durch Pfeile).

<u>Rechenregel:</u>
Knotensignal = Σ ankommender Signale