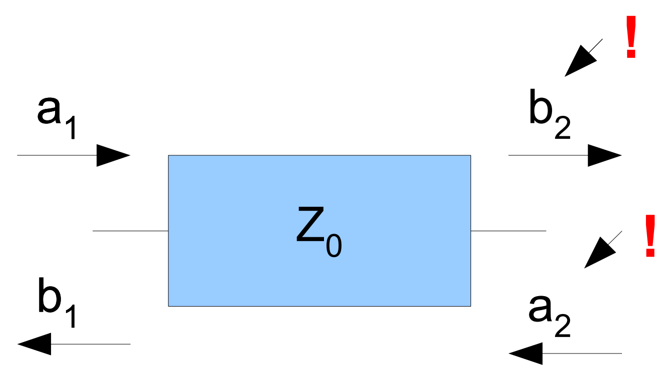
HF-Technik I

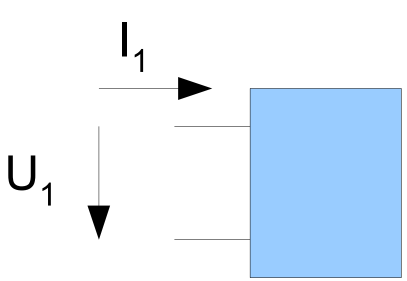
3 n-pole, Eintore, Zweitore und n-Tore

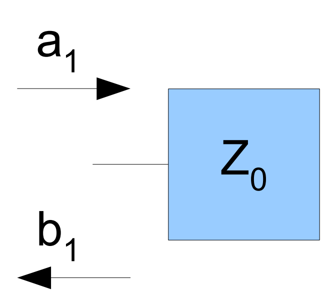
3.1 von der Wellenbetrachtung zum n-Tor
3.2 Die Wellenquelle
3.3 Die Streumatrix
3.4 Berechnungen über Alles

3 n-pole, Eintore, Zweitore und n-Tore
3.1 Von der Wellenbetrachtung zum n-Tor (1)

- Die Betrachtung über Tore ist z. B. im Hinblick auf Anordnungen interessant, die Leitungen <u>nicht</u> vom Typ Lecherleitung oder Koaxialkabel enthalten
- Die Betrachtung über Tore ist allgemein für HF-Anordnungen interessant. Sie werden im Zusammenhang mit der Betrachtung von .... verwendet.
- Verfahren auf Basis von Toren können allgemein angewendet werden und bringen teilweise Vorteile.
- Äquivalenzen:



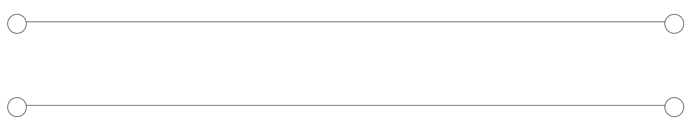




3.1 Von der Wellenbetrachtung zum n-Tor (2)

- Darstellung von Leitungen:

als Vierpol (2 Leiter)



oder

für Lecherleitungen

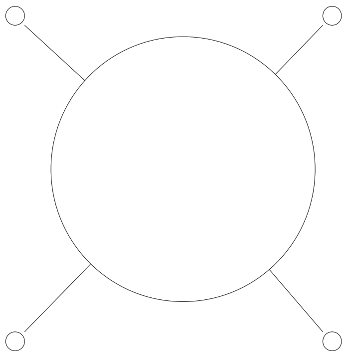
als Zweitor

für Lecherleitungen
für Hohlleiter
für dielektrische Wellenleiter
...

3.1 Von der Wellenbetrachtung zum n-Tor (3)

- Vom Zweitor zum n-Tor

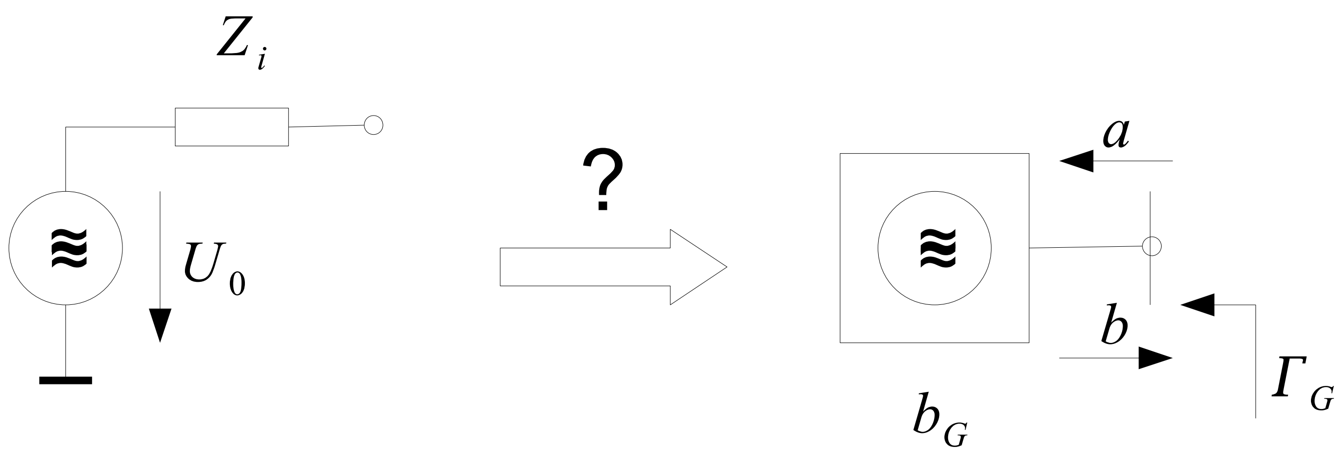
hier: Viertor



Beispiel: Richtkoppler

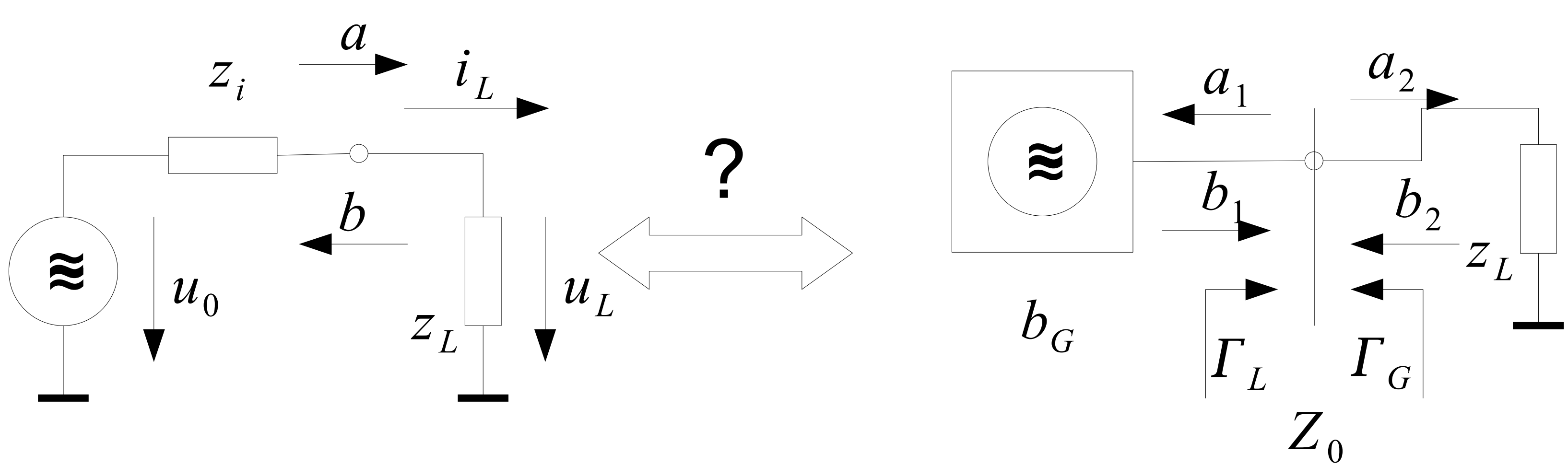
3.2 Die Wellenquelle (1)

- Bisher:
  - Leitungen
  - Lasten – allgemein konzentrierte Bauelemente mit ihren Impedanzen Z
- Es fehlen noch Quellen (und n-Tore allgemein)
  - Spannungs- und Stromquellen sind bekannt
  - Wellenquellen? - Was sonst, wenn mit Toren gearbeitet werden soll?!



3.2 Die Wellenquelle (2)

- Erste Frage: Kann die Spannungsquelle die Wellen a und b verursachen?



  - Arbeit mit normierter Spannung u und normiertem Strom i im Frequenzbereich, Normierung auf Bezugsimpedanz $\sqrt{Z_0}$ (kompatibel zu Wellen)
  - Arbeit mit normierten Impedanzen z_i und z_L, Normierung auf Bezugsimpedanz Z_0

$$u_L = u_0 \cdot \frac{z_L}{z_L + z_i} \qquad i_L = u_0 \cdot \frac{1}{z_L + z_i}$$

$$a + b = \frac{1}{2}(u_L + i_L) + \frac{1}{2}(u_L - i_L)$$

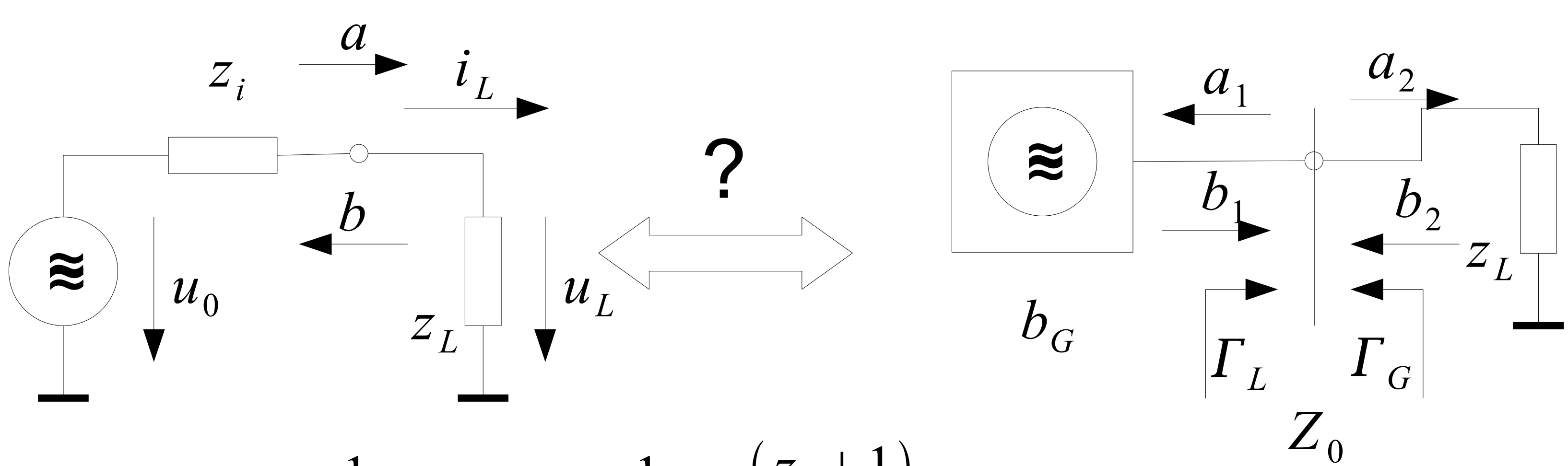
u, i sind Amplituden!

1. Term: a bzw. a_2
2. Term: b bzw. b_2

Ja

3.2 Die Wellenquelle (3)

- Zweite Frage: Von welchen Parametern der Spannungsquelle hängen die Wellen ab?



$$a = \frac{1}{2}(u_L + i_L) = \frac{1}{2} \cdot u_0 \frac{(z_L + 1)}{(z_L + z_i)}$$

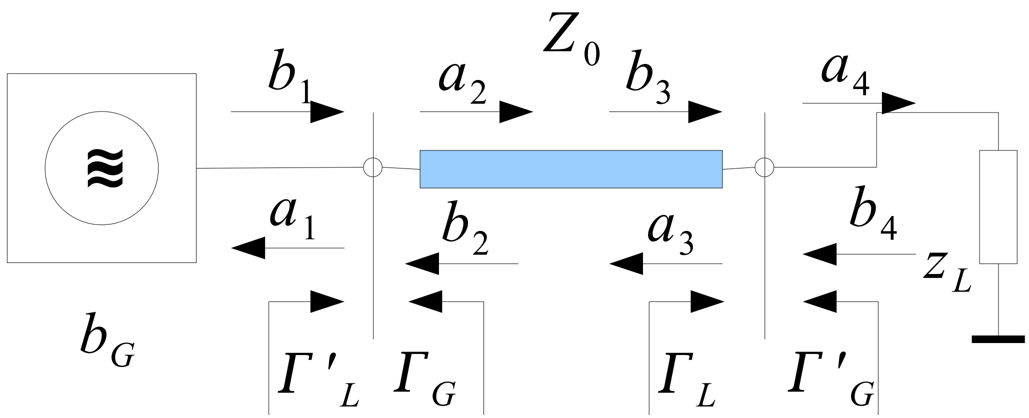
$$b = \frac{1}{2}(u_L - i_L) = \frac{1}{2} \cdot u_0 \frac{(z_L - 1)}{(z_L + z_i)}$$

$$\Gamma_L = \frac{b}{a} = \frac{z_L - 1}{z_L + 1}$$

- Nach dem jetzigen Stand hängen a und b von $\mathbf{u_0}$, $\mathbf{z_i}$ und $\mathbf{z_L}$ ab.
- Um aus den realen Daten diese Werte ermitteln zu können, wird noch $\mathbf{Z_0}$ benötigt.

3.2 Die Wellenquelle (4)

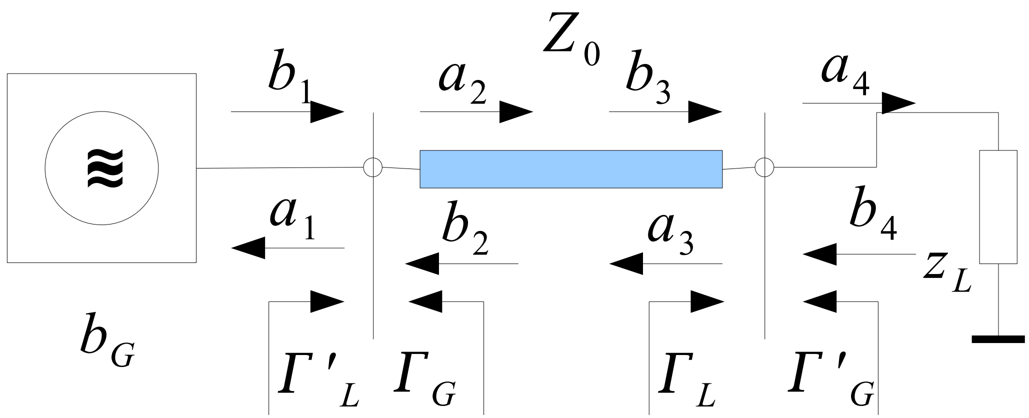
- <u>Dritte Frage</u>: Kann die Beschreibung der Wellenquelle von der Lastimpedanz unabhängig gemacht werden?



  - Leitung soll (keine Dämpfung oder) nur eine unerhebliche Dämpfung aufweisen
  - Die Leitung ist zuerst wellenfrei und die Quelle sendet dann einen kurzen Impuls oder einen kurzen Wellenzug. Ehe eine reflektierte Welle zurückkommt, ist die Sendung beendet. b_G ist die an Tor 2 abgegebene Welle
  - Am Tor 4 (z_L) erfolgt im Allgemeinen eine Reflexion, beschrieben durch Γ_L.
  - Die zurücklaufende Welle wird am Tor 1 wieder reflektiert. Es entsteht eine Ping-Pong-Bewegung eines Teils der Energie.

3.2 Die Wellenquelle (5)

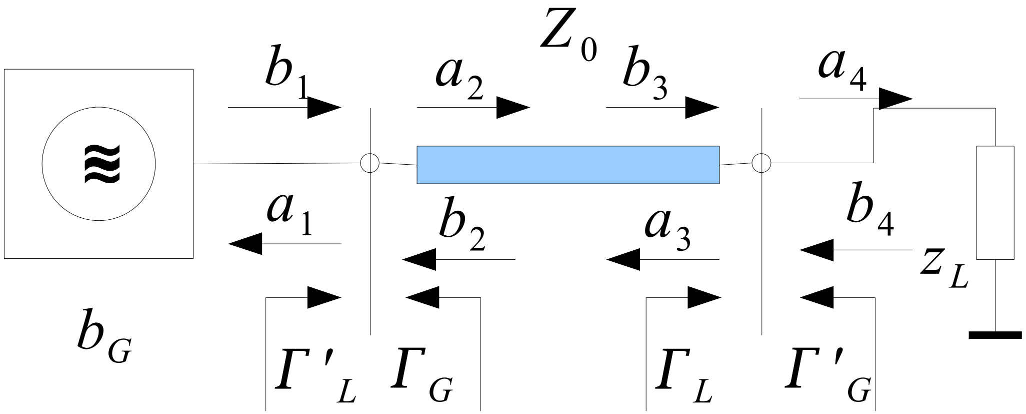
- Dritte Frage: Kann die Beschreibung der Wellenquelle von der Lastimpedanz unabhängig gemacht werden (Fortsetzung)?



  - Die zurücklaufende Welle wird am Tor 1 wieder reflektiert. Es entsteht eine Ping-Pong-Bewegung eines Teils der Energie.
  - Die Wellenquelle kann jetzt beschrieben werden durch die ursprünglich austretende Welle $\mathbf{b_G}$, den Reflexionsfaktor $\mathbf{\Gamma_G}$ am Tor 1 und $\mathbf{Z_0}$ als Normierungsgröße und zur Bestimmung des ursprünglichen Sendeimpulses.
  - Somit ist die Wellenquelle **unabhängig von der Lastimpedanz beschreibbar**.

3.2 Die Wellenquelle (6)

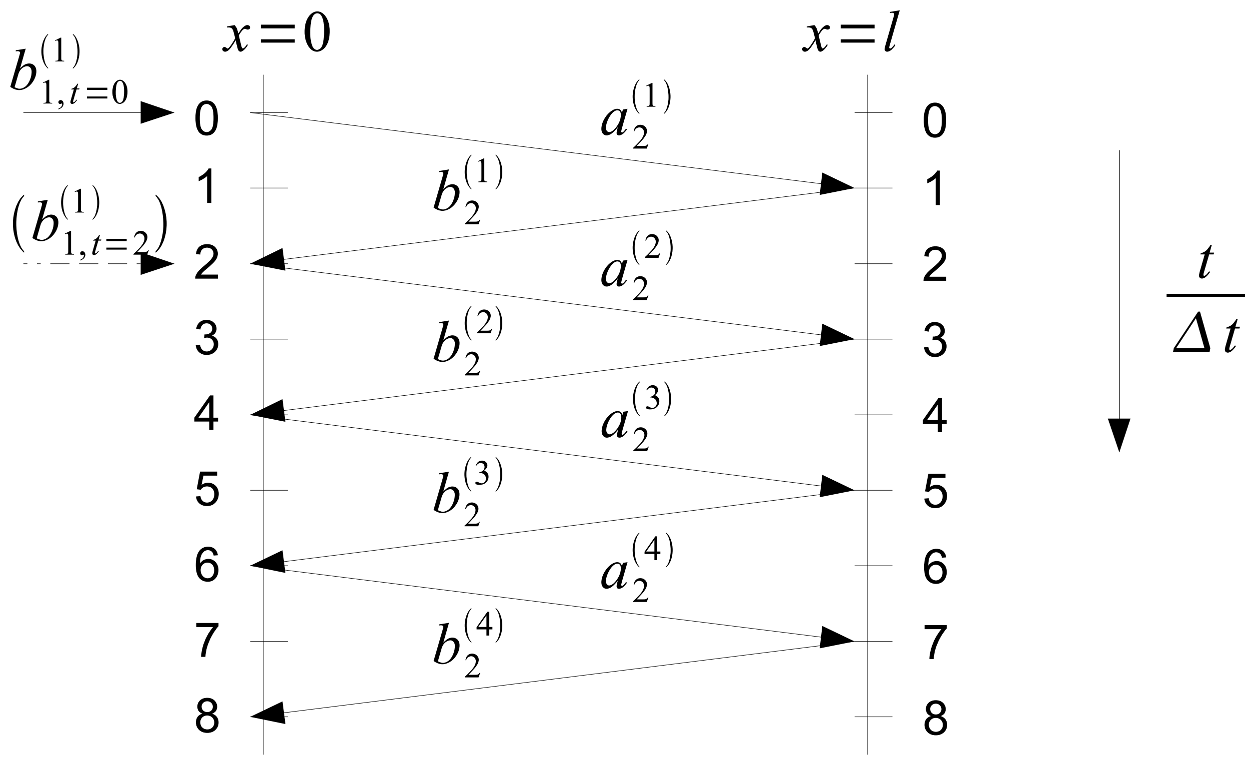
- Dritte Frage: Kann die Beschreibung der Wellenquelle von der Lastimpedanz unabhängig gemacht werden (Fortsetzung)?



  - Somit ist die Wellenquelle unabhängig von der Lastimpedanz beschreibbar.
    - Zur Verallgemeinerung ist vorstellbar, daß die Länge der Leitung gegen 0 gehen kann.
    - Zeitlich längere Vorgänge können in linearen Systemen in kurze Stücke zerlegt und getrennt behandelt werden. Am „Ende“ werden die Teilergebnisse addiert.
    - Bei Sendedauern >> Laufzeit auf der Leitung (auch bei Leitungslänge → 0) ergibt sich b_1 aus der Summation aller b_1 der entsprechend zurückliegenden Urwellen b_G. Hier spielt die Lastimpedanz wieder eine Rolle. $b_1 \neq b_G$

3.2 Die Wellenquelle (7)

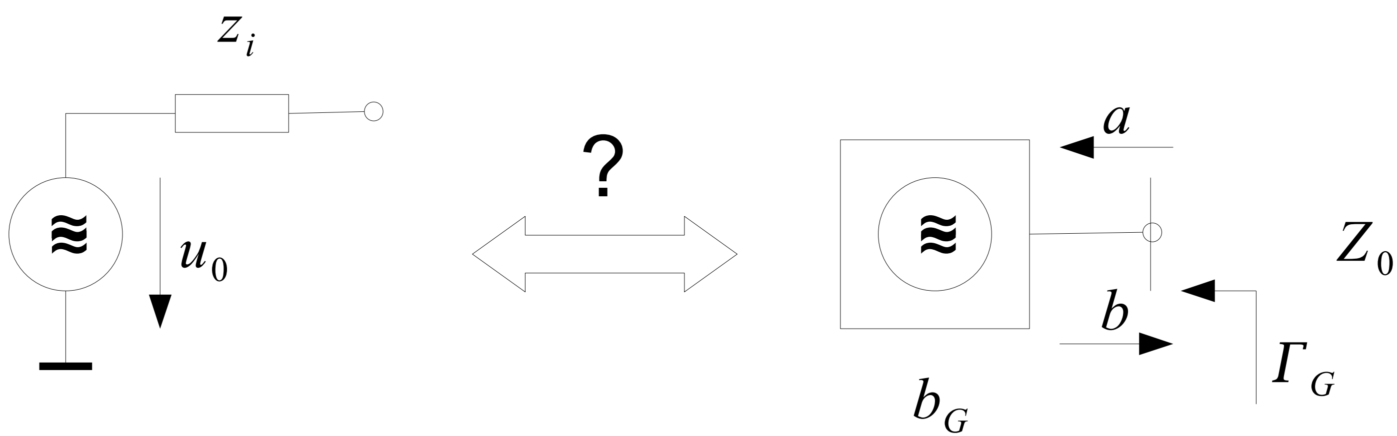
- Vierte Frage: Was liefert die Ping-Pong-Betrachtungsweise noch?
  - Mittels Weg-Zeit-Diagramm können Einschwingvorgänge behandelt werden
  - Mittels Weg-Zeit-Diagramm können zeitlich sehr kurze (aperiodische und periodische) Vorgänge behandelt werden



Δt: Laufzeit über Länge l

3.2 Die Wellenquelle (8)

- <u>Fünfte Frage</u>: Wie steht es um die Bezüge zwischen den Parametern und deren Messung?

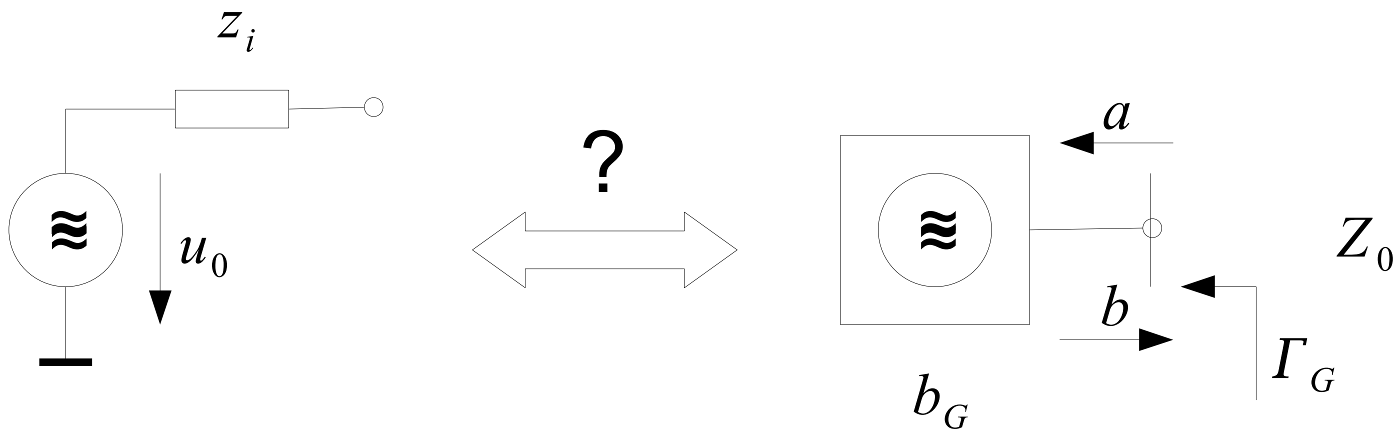


- u_0 ist „die treibende Kraft“
- Z_i ist immer vorhanden, auch bei $u_0 = 0$
- Z_i ist der komplexe Innenwiderstand der realen Spannungsquelle

- b_G ist „die treibende Kraft“
- Γ_G ist immer vorhanden, auch bei $b_G = 0$
- Γ_G ist abhängig von Z_i und Z_0.

3.2 Die Wellenquelle (9)

- Fünfte Frage: Wie steht es um die Bezüge zwischen den Parametern und deren Messung (Fortsetzung)?

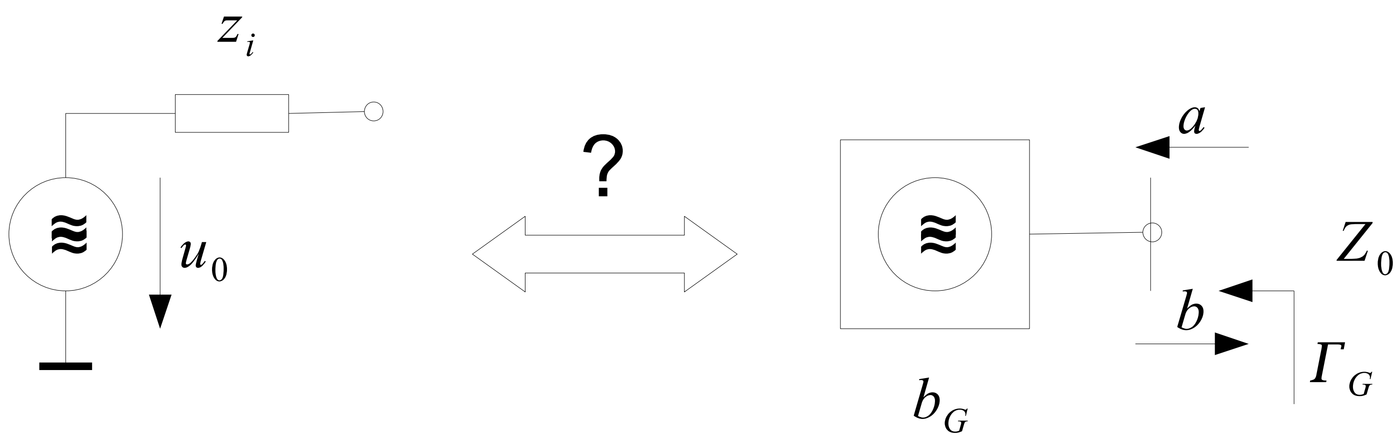


- u_0 ist im Leerlauf messbar
- Z_i ist über Messungen im Lastfall und u_0 ermittelbar

- b_G ist die unter allen Umständen an Z_0 abgegebene Welle (normierte Welle)
- b_G ist beim Anschluß einer Meßleitung mit Z_0 und eines .... bestimmbar.
  b_G ist abhängig von u_0 und z_i (und somit von U_0, Z_i und Z_0).

3.2 Die Wellenquelle (10)

- <u>Fünfte Frage</u>: Wie steht es um die Bezüge zwischen den Parametern und deren Messung (Fortsetzung)?



  - Γ_G über Messungen von a und b bei Fehlanpassung ermittelbar:

$$\Gamma_G = \frac{b}{a}\bigg|_{b_G=0}$$

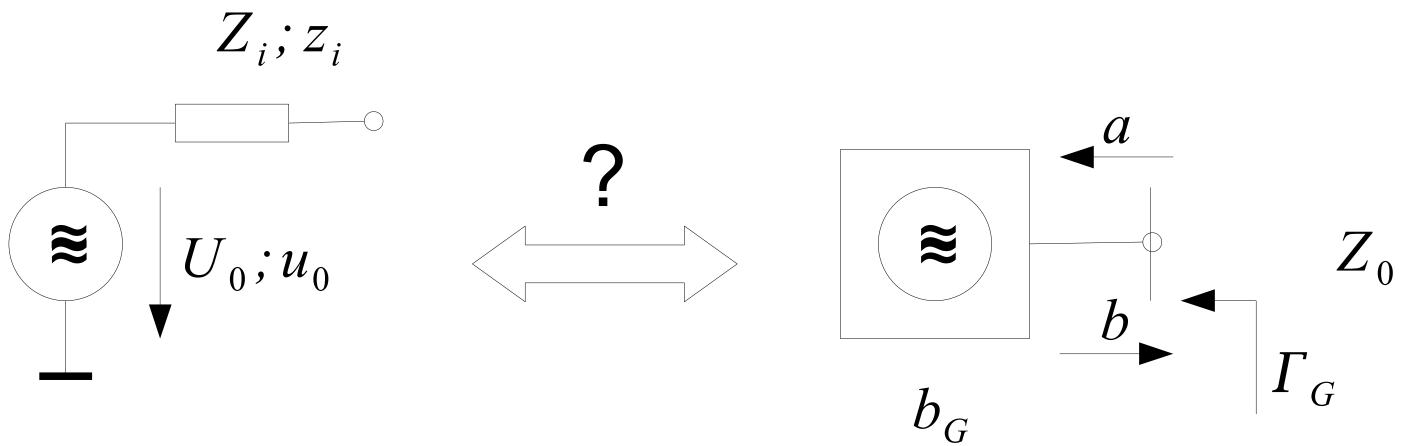
$$b = a \cdot \Gamma_G \big|_{b_G=0}$$

  - b besteht aus Urwelle b_G und reflektierter Welle a * Γ_G

$$b = a \cdot \Gamma_G + b_G \big|_{allgemein}$$

3.2 Die Wellenquelle (11)

- Fünfte Frage: Wie steht es um die Bezüge zwischen den Parametern und deren Messung (Fortsetzung)?



U_0: Urspannung, Amplitude!

u_0: normierte Urspannung, Amplitude!

Z_i: Innenwiderstand, Impedanz!

z_i: normierter Innenwiderstand, Impedanz!

$$u_0 = \frac{U_0}{\sqrt{Z_0}}$$

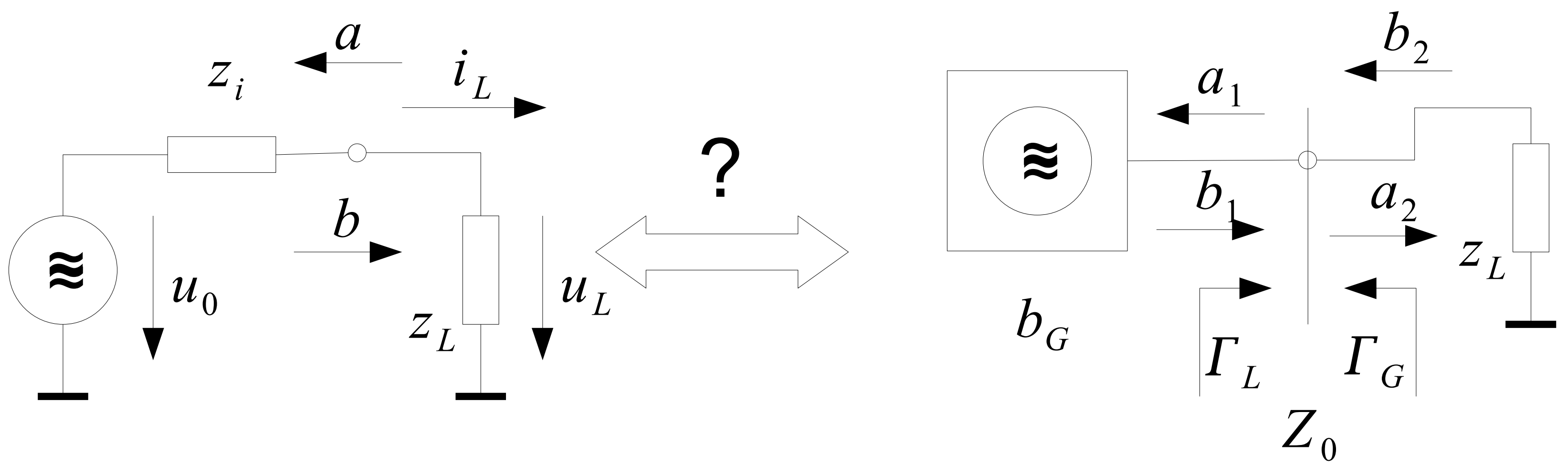
$$z_i = \frac{Z_i}{Z_0}$$

$$\Gamma_G = \frac{Z_i - Z_0}{Z_i + Z_0} = \frac{z_i - 1}{z_i + 1}$$

$$b_G = \frac{u_0 Z_0}{Z_i + Z_0} = \frac{u_0}{z_i + 1}$$

3.2 Die Wellenquelle (12)

- An die Last abgegebene Wirkleistung P_L (delivered to load)



– Die mittlere Leistung P_L

$$P_L = \frac{1}{2} \cdot U_L \cdot I_L = \frac{1}{2} \cdot u_L \cdot i_L$$

$$P_L = \frac{1}{2} \cdot u_0^2 \cdot \frac{z_L}{(z_i + z_L)^2}$$

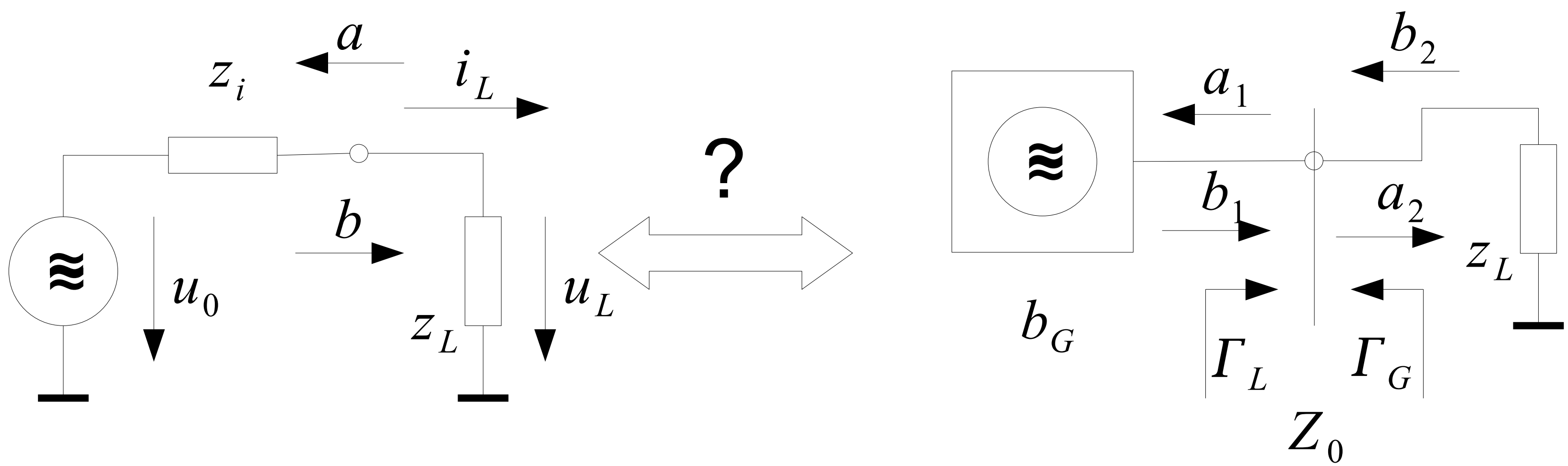
– Die mittlere Leistung P_L

$$P_L = \frac{1}{2}\left(|a_2|^2 - |b_2|^2\right) = \frac{1}{2} \cdot \frac{\left(1 - |\Gamma_L|^2\right) \cdot |b_G|^2}{|1 - \Gamma_L \Gamma_G|^2}$$

(U, u, I und i sind Amplituden und P_L ist die mittlere Leistung!)

3.2 Die Wellenquelle (13)

- An die Last abgebbare maximale Wirkleistung P_A (available Power)



- Die max. Wirkleistung P_L kann bei $|z_i| = |z_L|$ entnommen werden.
- Hat z_i einen imaginären Anteil, so hat i_L auch einen imaginären Anteil. Dieser kann für P_L verloren gehen.
- Für maximales P_L muß z_L diesen Blindstrom kompensieren.

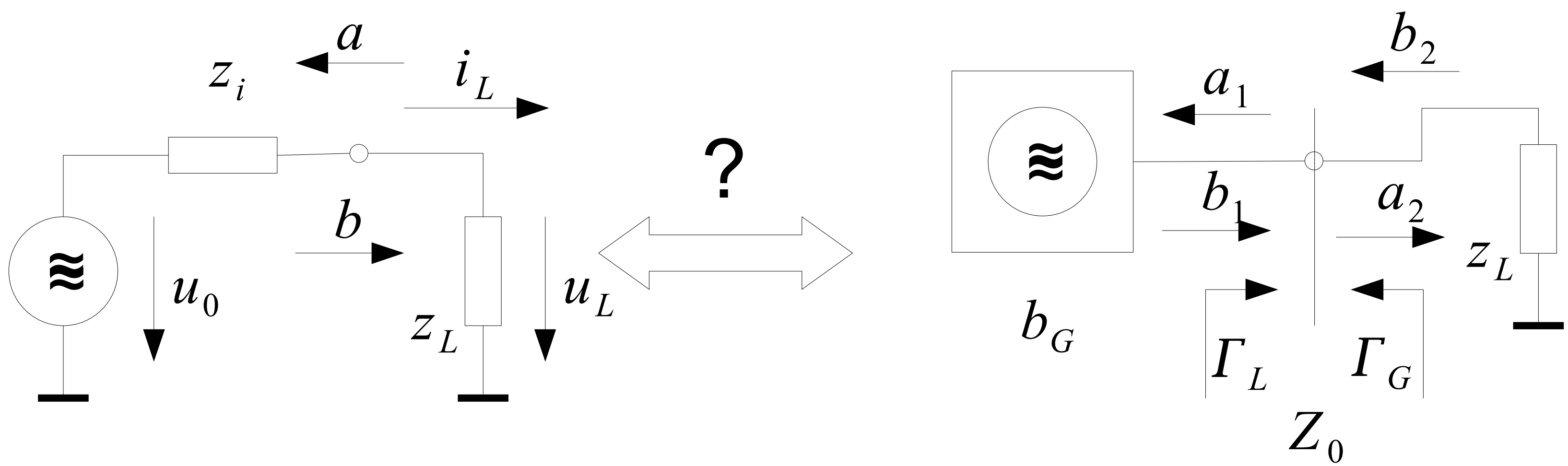
- Die max. mittlere Wirkleistung P_L kann bei welchen Bedingungen entnommen werden?

$$P_L = \frac{1}{2}\left(|a_2|^2 - |b_2|^2\right) = \frac{1}{2} \cdot \frac{\left(1-|\Gamma_L|^2\right) \cdot |b_G|^2}{|1-\Gamma_L \Gamma_G|^2}$$

Definition: $P_{L\,max} = P_A$

3.2 Die Wellenquelle (14)

- An die Last abgebbare maximale Wirkleistung P_A (available Power)



  - Hat z_L ursächlich einen Blindanteil, so kann P_L maximal werden, wenn z_i einen gleichgroßen Blindstrom umgekehrter Richtung bewirkt.
  - Für maximales P_L müssen also z_L und z_i einen gleichgroßen Realanteil haben und einen zueinander konjugiert komplexen Blindanteil besitzen.

$$P_L = \frac{1}{2}\left(|a_2|^2 - |b_2|^2\right) = \frac{1}{2} \cdot \frac{\left(1-|\Gamma_L|^2\right)\cdot|b_G|^2}{|1-\Gamma_L\Gamma_G|^2}$$

$$|1-\Gamma_L\Gamma_G|^2 = 1$$
$$-2|\Gamma_L||\Gamma_G|\cos(\varphi(\Gamma_L)+\varphi(\Gamma_G))$$
$$+|\Gamma_L|^2|\Gamma_G|^2$$

  - 1. Minimierung bei $\varphi(\Gamma_L) = -\varphi(\Gamma_G) \rightarrow$ cos-Fkt. wird 1 wird fortgesetzt