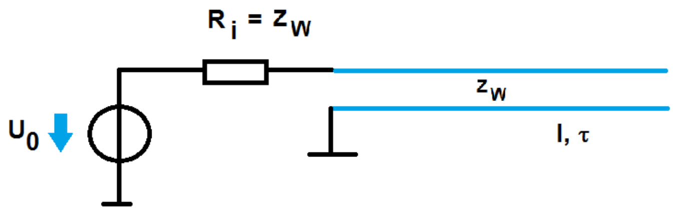
Spannung und Stromverlauf auf der leerlaufenden Leitung



Vorlaufende Welle

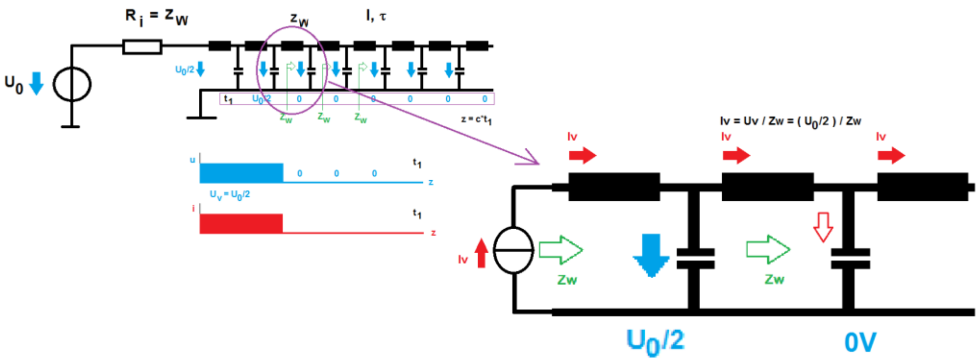
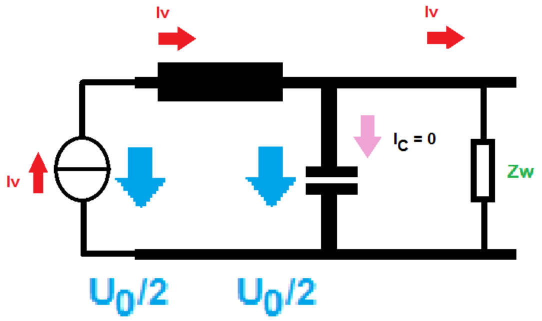


Abbildung 1 Vorlaufende Spannungs und Stromwelle

Die vorlaufende Spannungswelle „sieht" überall entlang der Leitung den Wellenwiderstand Z_W als Last. Über dem Widerstand $R_i = Z_w$ fällt aufgrund des Spannungsteilers R_i und Z_w die halbe Quellspannung U_0 ab. Daher fließt $I_V = \frac{U_0/2}{Z_W}$ in die Leitung, solange die Spannung am Eingang gleich $U_{KL} = {U_0}/{2}$ beträgt.

Laden der Kondensatorkette (vorlaufende Welle)



Jeder Kondensator der Größe **C‘*dz** wird nun vom vorlaufendem Strom geladen. Der Strom in den Kondensator erlischt bei $U_C = U_0/2$ (entspricht der Bedingung an den Eingangsklemmen). In diesem Fall fließt der Strom weiter in die Kette und ladet die restliche Kondensatorkette auf.

Im Zeitraum zwischen **t** und **t + dt** fließt eine Ladung

$$dQ = I_v * dt = C'dt * \frac{U_0}{2} = \frac{\frac{U_0}{2}}{Z_W} * dt$$

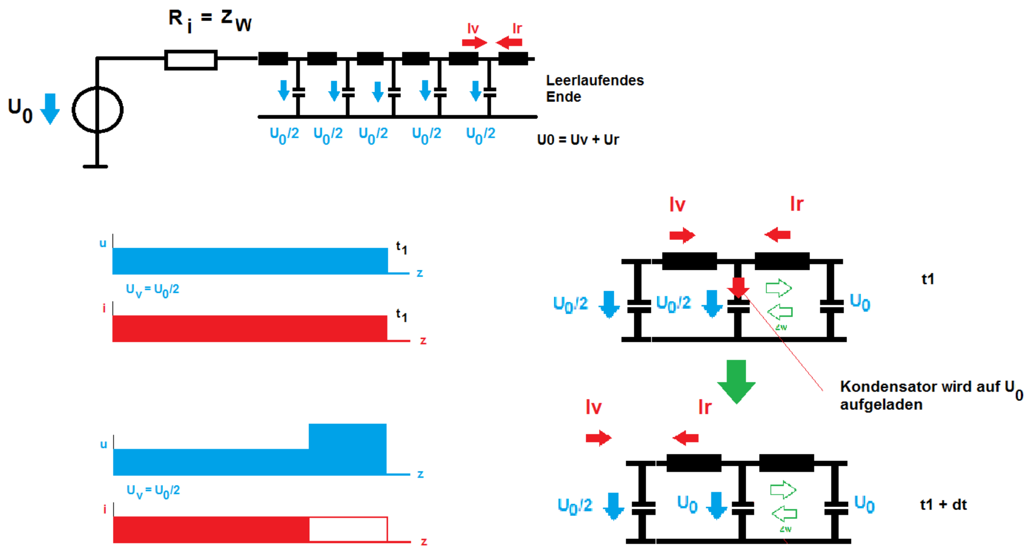
von der Einspeisung in die Leitung (Kette). Diese Ladung wird nur bei einem Wellenwiderstand

$$Z_W = \sqrt{L'/_{C'}}$$

erfüllt (bei einer Ausbreitungsgeschwindigkeit $c = \frac{1}{\sqrt{L'C'}}$.).

Am Ende der Leitung ($t=\tau$) kann der eingeprägte Strom nicht mehr weiter fließen. Da die Quelle aber weiter Strom in die Kette pumpt (Der Eingang ist ja noch auf $U_0/2$), wird der letzte Kondensator über die Spannung U_0 / 2 geladen.

Rücklaufende Welle



Laden der Kondensatorkette (rücklaufende Welle)

Auf welchen Spannungswert wird der letzte Kondensator C‘*dz geladen?

Im Zeitraum zwischen τ und $\tau + dt$ (wenn die vorlaufende Welle das Ende der Leitung erreicht) fließt ja immer noch eine Ladung

$$dQ = I_V * dt = \frac{\frac{U_0}{2}}{Z_W} * dt$$

in die Kette. Da die Kette bis incl. dem letzten Kondensator auf $U_0/_2$ aufgeladen ist, kann sie bis auf den letzten Kondensator keine Ladung aufnehmen, da der hineinfließende Strom

$$I_V = \frac{U_0/_2}{Z_W}$$

beträgt, jeder Kondensator auf die Spannung $U_0/2$ geladen ist und eine Last von Z_W sieht. Es bleibt somit kein Strom für den Kondensator übrig.

Der letzte Kondensator ist der einzige Kondensator ohne Last an den Klemmen, somit fließt die gelieferte Ladung in diesen Kondensator. dQ erhöht ihn daher im betrachteten Zeitraum τ und $\tau + dt$ um die Spannung

$$\varDelta U = \frac{dQ}{C'*dz} = \frac{\frac{\frac{U_0}{2}}{Z_W}*dt}{C'*dz} = \frac{\frac{U_0}{2}}{C'*\frac{1}{\sqrt{L'C'}}\sqrt{L'/C'}} = \frac{U_0}{2}.$$

Der letzte Kondensator wird daher auf die Spannung $U = {}^{U_0}/_2 + {}^{U_0}/_2 = U_0$ geladen.

Durch die Spannungsverdoppelung am Ende der Leitung entsteht ein Spannungsunterschied zwischen vorletzten und letzten Kondensator von $U_0 – U_0/2 = U_0/2$. Die beiden Kondensatoren würden sich ausgleichen, es fließt aber nach wie vor Iv von der Quelle nach.

Die gelieferte Ladung dQ im Zeitraum $\tau + $ dt und $\tau + 2*$dt ist nun genau so groß, dass die beiden letzten Kondensatoren U_0 erreichen. Der Strom zwischen vorletzten und letzten Kondensator wird daher 0.

Man kann sich das so vorstellen, dass ein rücklaufender Strom entsteht der gleich groß wie Iv ist. Die „rücklaufende“ Spannung läuft nun mit der Ausbreitungsgeschwindigkeit c zum Eingang, bis auch dort der zufließende Strom zum Erliegen kommt.

Ladungsbilanz zwischen zwei Spannungssprüngen benachbarter Kondensatoren errechnet sich über folgende Gleichung

$$dQ_{zufliessende\ Ladung} = I_V * dt = \frac{{}^{U_0}/_2}{Z_W} * dt \ = \varDelta U \ * C' * dz$$

⇨ $\varDelta U = {}^{U_0}/_2$

Es entsteht eine rücklaufende Welle deren Energiefluss auch in Richtung Eingang fließt, der allerdings von den Eingangsklemmen gespeist wird.

Klemmt man genau zum Zeitpunkt τ die Speisespannung ab wird es auch keine rücklaufende Welle geben.