

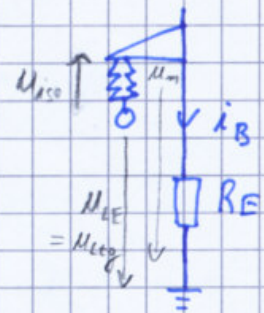
1a)  $|U_{st\ max}| = 800\ kV$  ;  $\hat{i}_B = -40\ kA$  ;  $R_E = 25\ \Omega$

$$U_{iso} = U_{LE} - U_{m} = -i_B \cdot R_E$$

$= 0$  da abge-  
rückt

$$\hat{U}_{iso} = -\hat{i}_B \cdot R_E = 40\ kA \cdot 25\ \Omega = 1000\ kV > \hat{U}_{st\ max}$$

$\Rightarrow$  Rückwärtiger Überslag



$T_{stirn} : 10\ \mu s$  (VDE 0432: lin. Approx:

$$\Rightarrow \frac{dU_m}{dt} = \frac{-1000\ kV}{10\ \mu s} = -100 \frac{kV}{\mu s} = -\frac{dU_{iso}}{dt}$$



Überslag am Isolator wenn  $U_{iso} \geq \hat{U}_{st\ max}$  d.h.  $t \geq t_1$

$$U_{iso} = t_1 \cdot \frac{dU_{iso}}{dt} \Rightarrow t_1 = \frac{800\ kV}{100\ kV/\mu s} = 8\ \mu s$$

max. zulässiger Stromleiter:

$$800\ kV = U_{st\ max} \geq |U_{iso}| = |\hat{i}_{zul} R_E| \Rightarrow |\hat{i}_{zul}| \leq \frac{800\ kV}{25\ \Omega} = 32\ kA$$

max. Stoßfestigkeit

1b (1):  $i_{Ltg} = \frac{U_{Ltg}}{Z_w}$  und  $\frac{U_{Ltg}}{U_{iso}} = \frac{U_m}{U_{iso} = 0 \text{ ng. Überslag}}$

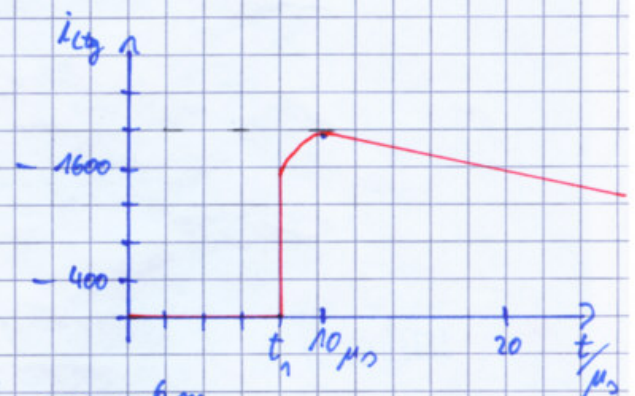
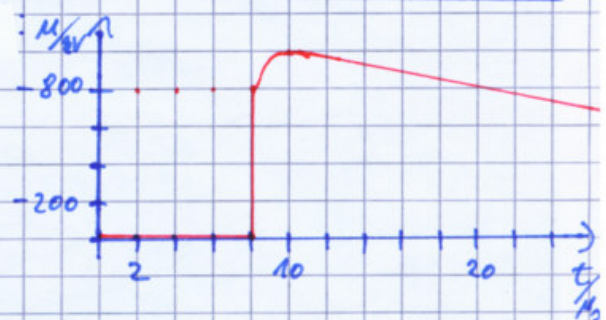
$$U_{Ltg}(t_1) = -800\ kV$$

$$\hat{U}_{Ltg}(10\ \mu s) = \hat{U}_{Ltg} = -1000\ kV$$

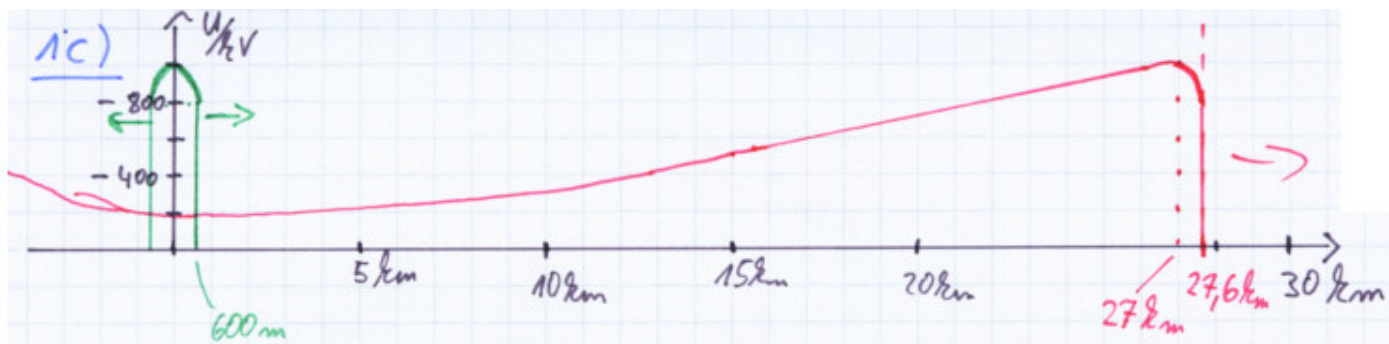
Jedes Leitungsseil sieht für sich  $U_{Ltg}$ , daher (1):

$$i_{Ltg}(t_1) = \frac{-800\ kV}{500\ \Omega} = -1600\ A$$

$$\hat{i}_{Ltg} = \frac{-1000\ kV}{500\ \Omega} = -2000\ A$$



Scheitelwerte bei  $t = 10\ \mu s \Rightarrow l_{Blitzkan} = 10 \cdot 10^{-6} \cdot 38 \cdot 10^6 \frac{m}{s}$   
 $= 380\ m \Rightarrow$  Blitzkanal hat volle mal nicht erreicht



$$l_1 = (10\mu s - 8\mu s) \cdot \frac{300\text{km}}{m/s}$$

$$l_2 = (t_4 - 8\mu s) \cdot c_0 = (100 - 8)\mu s \cdot \frac{300\text{km}}{m/s} = 27,6\text{km}$$

1d) ohne Berücksichtigung der Leiterseile:  $i_m(t) = \hat{i}_m = -40\text{ kA}$

• Anstiegsteilheit:

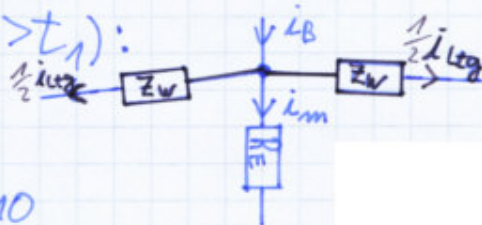
$$\frac{di}{dt} = \frac{-40\text{ kA}}{10\mu s} = -4 \frac{\text{kA}}{\mu s}$$

• Abfall:  $\frac{di}{dt} = \frac{(-20 + 40)\text{ kA}}{(50 - 10)\mu s} = +500 \frac{\text{A}}{\mu s}$

Spannungsverlauf:  $u_m(t) = i_m(t) \cdot 25\Omega$

$$\hat{u}_m \stackrel{1.1}{=} -40\text{ kA} \cdot 25\Omega = -1000\text{ kV}$$

Mit Leitungsseilen (ab  $t > t_1$ ):



$$i_B = i_m + i_{Ltg}$$

$$\frac{i_m}{i_{Ltg}} = \frac{Z_W/2}{R_E} = \frac{250\Omega}{25\Omega} = 10$$

$$\Rightarrow i_m = 10 i_{Ltg}$$

$$\Rightarrow i_B = \frac{i_m}{10} + i_m = 1,1 i_m$$

$$\Rightarrow i_m = \frac{i_B}{1,1} = 90,91\% i_B \quad (\text{d.h. } 9,1\% \text{ Verringerung})$$

(Kann oft vernachlässigt werden, daher vereinfachte Rechnung in 1b als „worst case“ sinnvoll.)

Mit obiger Rechnung ergäbe sich z.B. für  $i_{Ltg}(t_1) = 1456\text{ A}$  statt  $1600\text{ A}$  aus 1b)

1e) Nach Foust u. Menger:

$$U = \frac{U_0}{k \cdot \frac{\rho}{\text{km}} \cdot \left| \frac{U_0}{\text{kV}} \right| + 1}$$

$$k = \begin{cases} 0,0004 & \text{pos. Welle} \\ 0,0002 & \text{neg. Welle} \\ 0,0006 & \text{bei Nebel} \end{cases} \left. \begin{array}{l} \text{Berück-} \\ \text{ichtigt} \\ \text{Korona-} \\ \text{dämpfung} \end{array} \right\} \text{(Matthias, Nebelforschung)}$$

$\rho$ : durchlaufener Weg

$$t = t_4 = 100 \mu s$$

• Ort des Sprungs:  $\rho_1 = (100 - 8) \mu s \cdot 0,3 \frac{\text{km}}{\mu s} = 27,6 \text{ km}$

• Spa. am Sprungort:  $U_{\text{Spr}} = \frac{-800 \text{ kV}}{0,0002 \cdot 27,6 \cdot 800 + 1} = \frac{-800 \text{ kV}}{5,416} = \underline{\underline{-147,71 \text{ kV}}}$

• Ort des Scheitels:  $\rho_2 = (100 - 10) \mu s \cdot 0,3 \frac{\text{km}}{\mu s} = 27 \text{ km}$

• Spa. am Scheitel:  $\hat{U} = \frac{-1000 \text{ kV}}{0,0002 \cdot 27 \cdot 1000 + 1} = \frac{-1000 \text{ kV}}{6,4} = \underline{\underline{-156,25 \text{ kV}}}$

• Scheitel bei pos. Welle:  $\hat{U} = \frac{1000 \text{ kV}}{0,0004 \cdot 27 \cdot 1000 + 1} = \frac{1000 \text{ kV}}{11,8} = \underline{\underline{84,75 \text{ kV}}}$

→ Wenn es im Netz nicht abnormal geschwächte Isolatoren gibt, sollte es außer bei den nahegelegenen Nachbarmasten / -isolatoren keine weiteren Überschläge geben (da wg. Erdschluß + Sternpunktverschiebung Isolatoren auf  $\sqrt{3} \cdot \hat{U}_{LE}$  (z.B. für 110 kV-Netz: 156 kV)

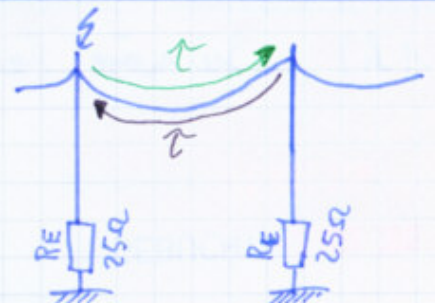
1f)  $\hat{U} = \frac{-1000 \text{ kV}}{2 \cdot 10^{-4} \cdot 2 \cdot 1000 + 1} = -714,3 \text{ kV}$  (Scheitel der am offenen Schalter einlaufenden Welle)

offener LS: Reflexion am LL  $\Rightarrow \hat{U}_{\text{Schalter}} = 2 \cdot (-714,3 \text{ kV}) = \underline{\underline{-1428,6 \text{ kV}}}$

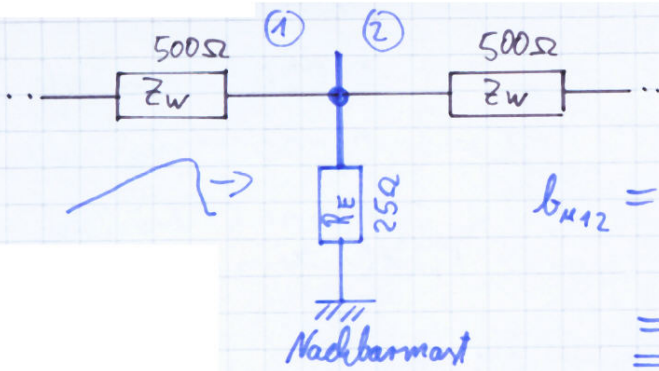
$\Rightarrow$  Überschlag am Abspannmast da  $\hat{U}_{\text{mg}} = 0,8 \text{ kV}$

1g)  $a = 210 \text{ m}$ ; Wanderwelle: Nach  $2\tau$  macht sich  $R_E$  des Nachbarmasts bemerkbar:

$$2\tau = t_{NM} = \frac{2 \cdot 210 \text{ m}}{300 \text{ m}/\mu s} = \underline{\underline{1,4 \mu s}}$$



zu 1g)



$$b_{m12} = \frac{2 \cdot \overbrace{(500\Omega \parallel 25\Omega)}^{Z_{W2}}}{500\Omega + (500\Omega \parallel 25\Omega)} = \frac{2 \cdot 23,8095}{500 + 23,8095}$$

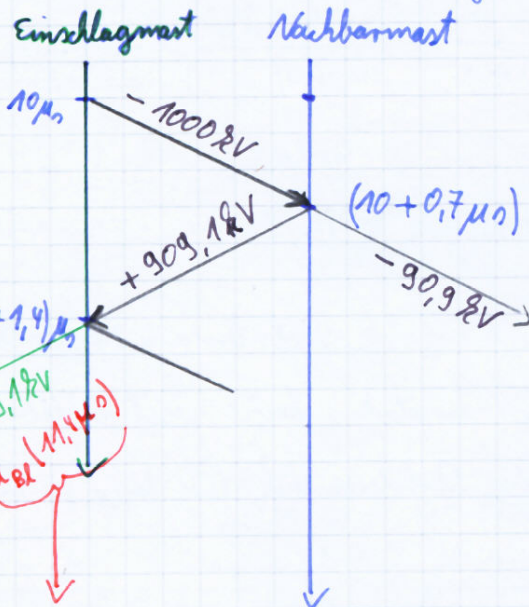
$$= 0,091 = b_{m21}$$

$$\tau_{m12} = b_{m12} - 1 = -0,909$$

$$b_{i12} = \frac{2 \cdot 500\Omega}{500\Omega + 23,8095\Omega} = 0,9545$$

$$\tau_{i12} = b_{i12} - 1 = -0,045$$

$\hat{U} = -1000 \text{ kV}$  (schlimmstmögl. Fall):



Stromwelle:  $\frac{1000 \text{ kV}}{0,5 \text{ k}\Omega} = 2 \text{ kA} = \hat{I}_{\text{erdreich}}$

d.h. ca. 5%  $\hat{I}_{\text{Blitz}}$  d.h. oft vernachlässigbar in ihrer thermischen Wirkung

$$u_{\text{Blitz}} (11,4 \mu\text{s}) = -1000 \text{ kV} + 0,4 \frac{\text{kA}}{\mu\text{s}} \cdot 1,4 \mu\text{s} \cdot 25\Omega = -1000 \text{ kV} + 0,56 \text{ kA} \cdot 25\Omega$$

$$= -1000 \text{ kV} + 14 \text{ kV} = -986 \text{ kV}$$

$$\Rightarrow u = 0,091 \cdot 909,1 \text{ kV} + 0,091 \cdot (-986 \text{ kV}) = (82,728 - 89,726) \text{ kV}$$

$$= -6,998 \text{ kV} \approx -7 \text{ kV}$$

1h) Sie wäre halb so groß:

