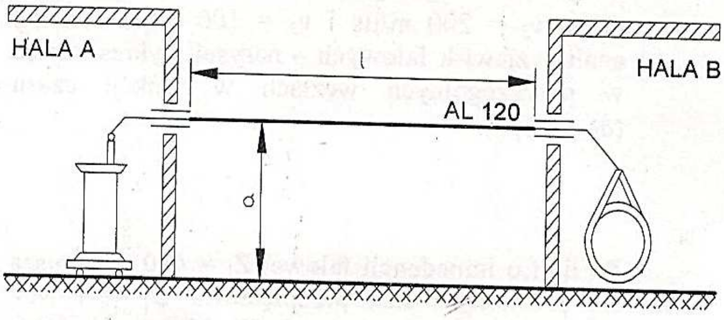
Zadanie 1

W hali laboratoryjnej B znajduje się odcinek kabla o długości 10 m, którego pojemność $C = 5$ nF, a współczynnik strat dielektrycznych $\mathrm{tg}\delta = 19{,}5\cdot 10^{-3}$. W celu wykonania próby napięciem probierczym $U = 75$ kV kabel połączono linką AL 120 mm^2 z transformatorem probierczym TP110, znajdującym się w hali laboratoryjnej A. Obliczyć maksymalną długość odcinka tego kabla, który może zostać poddany próbie napięciowej, jeżeli długość linki l=85 m a wysokość zawieszenia a = 4m.



Dane transformatora probierczego: U_N = 110 kV, S_N = 10 kVA.

Pojemność jednostkową linki określa zależność:

$$C_0 = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln\dfrac{2a}{r}}$$

Zadanie 2

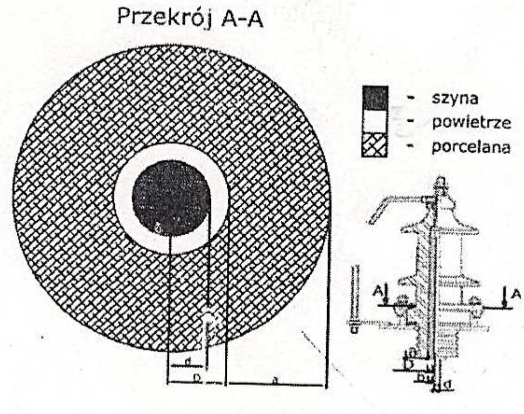
Dana jest linia dwuprzewodowa o średnicy przewodów d = 10 mm. Odstęp między przewodami a = 0,8 m, U_N = 110 kV, δ = 1, $m_1 = m_2 = 1$. Oblicz:

a) natężenie pola na powierzchni przewodu, a następnie
b) sprawdź, czy w tych warunkach wystąpi zjawisko ulotu?

O ile należy powiększyć odległość między przewodami a_x aby przy wzroście U_N o 20%, natężenie na powierzchni przewodów równe było równe natężeniu krytycznemu.

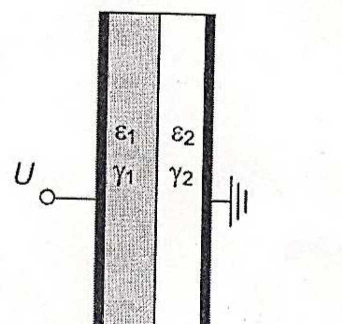
Zadanie 4

Wyznacz rozkład natężenia pola elektrycznego w przekroju poprzecznym A-A izolatora przepustowego U_N = 30 kV, jeżeli średnica szyny d = 20 mm, średnica wewnętrzna porcelany D = 30 mm, grubość porcelany a = 82 mm. Jak zmieni się rozkład natężenia pola, jeżeli na szynę nałożymy tuleję bakelitową o grubości b = 5 mm. Czy tuleja jest w tym układzie konieczna?



Należy wykonać wykresy $E = f(x)$ oraz $U = f(x)$.
Do obliczeń przyjąć: $\varepsilon_{w\,por} = 5$, $\varepsilon_{w\,pow} = 1$, $\varepsilon_{w\,bak} = 3$.

Zadanie 6



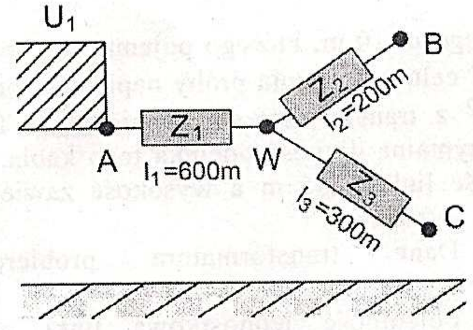
Rys.4. Rozpatrywany układ uwarstwiony

Dla układu uwarstwionych materiałów (rys. 4) obliczyć i wykreślić rozkład natężenia pola i napięcia dla trzech rodzajów przyłożonego pola elektrycznego:

a) elektrostatycznego,
b) stałego,
c) przemiennego (f = 50 Hz)

Do obliczeń przyjąć następujące dane:
powierzchnia elektrod S = 400 cm^2, wartość przyłożonego napięcia U = 20 kV, grubość warstw dielektrycznych $a_1 = a_2 = 10$ mm, przenikalność elektryczną względną $\varepsilon_1 = 4$, $\varepsilon_2 = 8$, przewodność właściwą dielektryków $\gamma_1 = 10^{-12}\ \Omega^{-1}\mathrm{cm}^{-1}$, $\gamma_2 = 10^{-15}\ \Omega^{-1}\mathrm{cm}^{-1}$.

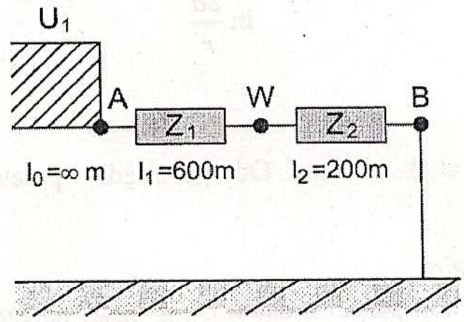
Zadanie 3



Rys.3. Schemat rozpatrywanej sieci

Po linii o impedancji falowej Z_1 = 400 Ω porusza się prostokątna fala przepięciowa U_1 = 1 MV (rys. 3). Po dojściu do węzła *W* fala przepięciowa przechodzi na dwie linie równoległe: Z_2 = 200 Ω i Z_3 = 100 Ω. Przyjmując prędkości rozchodzenia się fal po poszczególnych liniach równe: v_1 = 300 m/μs, v_2 = 200 m/μs i v_3 = 100 m/μs dokonaj analizy zjawisk falowych – narysuj wykres napięć w poszczególnych węzłach w funkcji czasu (do t = 6μs).

Zadanie 5



Rys.4. Schemat rozpatrywanej sieci

Po linii o impedancji falowej Z_1 = 400 Ω porusza się prostokątna fala przepięciowa U_1 = 1 MV (rys. 4). Po dojściu do węzła *W* fala przepięciowa przechodzi na dwie linie równoległe: Z_2 = 200 Ω. Przyjmując prędkości rozchodzenia się fal po poszczególnych liniach równe: v_1 = 300 m/μs, v_2 = 200 m/μs dokonaj analizy zjawisk falowych – narysuj wykres napięć w poszczególnych węzłach w funkcji czasu (do t = 6μs).

Zad. 1.

D.

$l_{kabla} = 10m$ $\quad$ $AL\ 120mm^2$ $\quad$ $U = 75kV$

$C_k = 5nF$ $\quad$ $l = 85m$

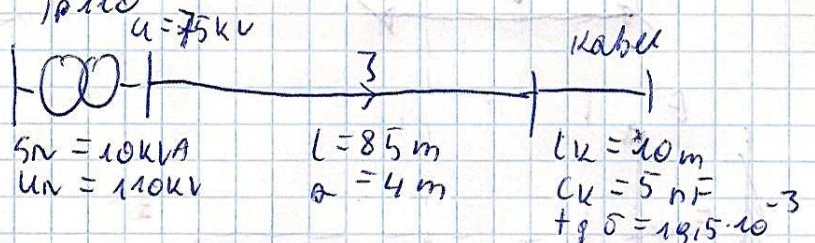
$tg\delta = 19{,}5 \cdot 10^{-3}$ $\quad$ $a = 4m$

Szukane

$l_x = ?$ (dla $U = 75kV$)

$U_N = 110kV$ $\quad$ $S_N = 10kVA$,

$$C_0 = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln\frac{2a}{r}}$$



Prąd płynący przez linię napowietrzną i kablową musi być mniejszy od prądu znamionowego trafo:

$$I \leq I_N$$

gdzie: $I = \frac{U}{X_{Cz}} = U\omega C_z$, $\quad I_N = \frac{S_N}{U_N}$

$$U\omega C_z \leq \frac{S_N}{U_N} \rightarrow C_z \leq \frac{S_N}{U_N U \omega} = \frac{10}{110 \cdot 75 \cdot 314 \cdot 10^3} = 3{,}86\ [nF]$$

Pojemność zastępcza rozpatrywanego układu wynosi:

$$C_z = C_{kx} + C_l \qquad r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = 6{,}18\ mm$$

$$C_l = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln\frac{2a}{r}} \cdot l = \frac{2\pi \cdot \frac{1}{36\pi} \cdot 10^{-9}}{\ln\frac{2 \cdot 4}{6{,}18 \cdot 10^{-3}}} \cdot 85 = 0{,}659\ [nF]$$

$$C_{kx} = \frac{C_k}{l_k} \cdot l_x = C_{0k} \cdot l_x = 0{,}5\, l_x$$

$$C_{0k} \cdot l_x + C_l \leq 3{,}86\ nF$$

$$C_x \leq \frac{3{,}86\,nF - C_L}{C_0 K}$$

$$C_x \leq \frac{3{,}86 \cdot 10^{-9} - 0{,}659 \cdot 10^{-9}}{0{,}5 \cdot 10^{-9}} = 6{,}402\,m$$

$$\boxed{C_x \leq 6{,}402\,m}$$

zad. 2.

1):

$d = 10 \cdot 10^{-3}\,m = 1\,cm$

$a = 80\,cm$

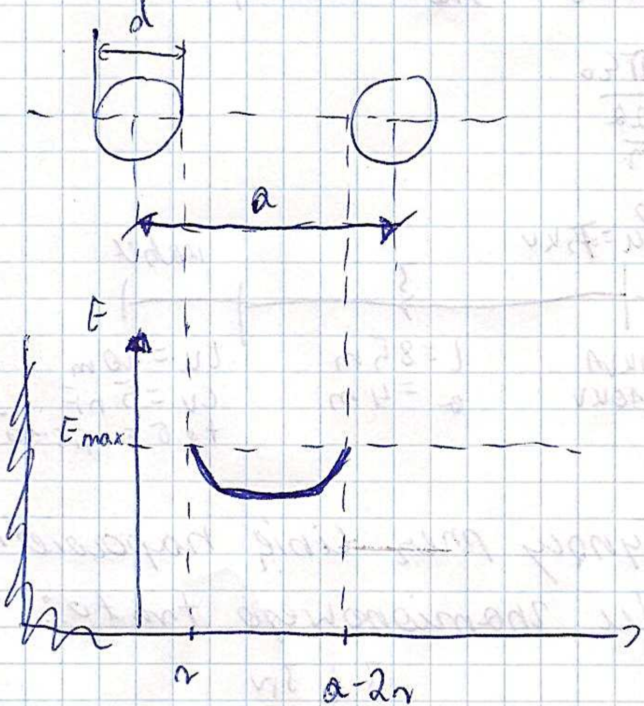
$U_N = 110\,kV$

$E_{kr} = 21{,}1\,kV/cm$

$U_m = 1{,}2\,U_N$

$m_1 = m_2 = \delta = 1$

$E_0 = 21{,}1 \cdot m_1 \cdot m_2 \delta$



a):

$$E_x = \frac{U}{2x \ln \frac{a}{r}}$$

$$E(r) = \frac{U}{2 \cdot \frac{d}{2} \ln \frac{2 \cdot a}{d}} = \frac{110 \cdot 10^3}{2 \cdot \frac{1}{2} \ln \frac{2 \cdot 80}{1}} = \frac{110}{\ln 160}\,kV/cm = 21{,}67\,kV/cm$$

b) $E(r) > E_{kr}$ wystąpi zjawisko ulotu w tych warunkach.

c) $$E(r) = E_{kr} = \frac{1{,}2 U_N}{2 \frac{d}{2} \ln \frac{2a_x}{d}}$$

$$1{,}2 U_N = E_{kr} \cdot d \cdot \ln \frac{2a_x}{d}$$

$$\ln \frac{2a_x}{d} = \frac{1{,}2 U_N}{E_{kr} \cdot d} = k = \frac{1{,}2 \cdot 110}{21{,}1 \cdot 1} = 6{,}256$$

$$e^{K} = \frac{2a_x}{d} \Rightarrow a_x = \frac{d}{2} e^{K}$$

$$a_x = \frac{1}{2} \cdot e^{6,256} = 260,56\,cm$$

odp. By natężenie na pow. przewodu było równe E_{kr}, należy odsunąć przewody na odległość 260,56 cm, zamiast 80 cm.

Zad. 4.

a) BEZ TULEI BAKIELITOWEJ

D.

$U = 30\,kV$

$r = \frac{d}{2} = 1\,cm$

$r_1 = \frac{D}{2} = 1,5\,cm$

$r_2 = r_1 + a = 9,7\,cm$

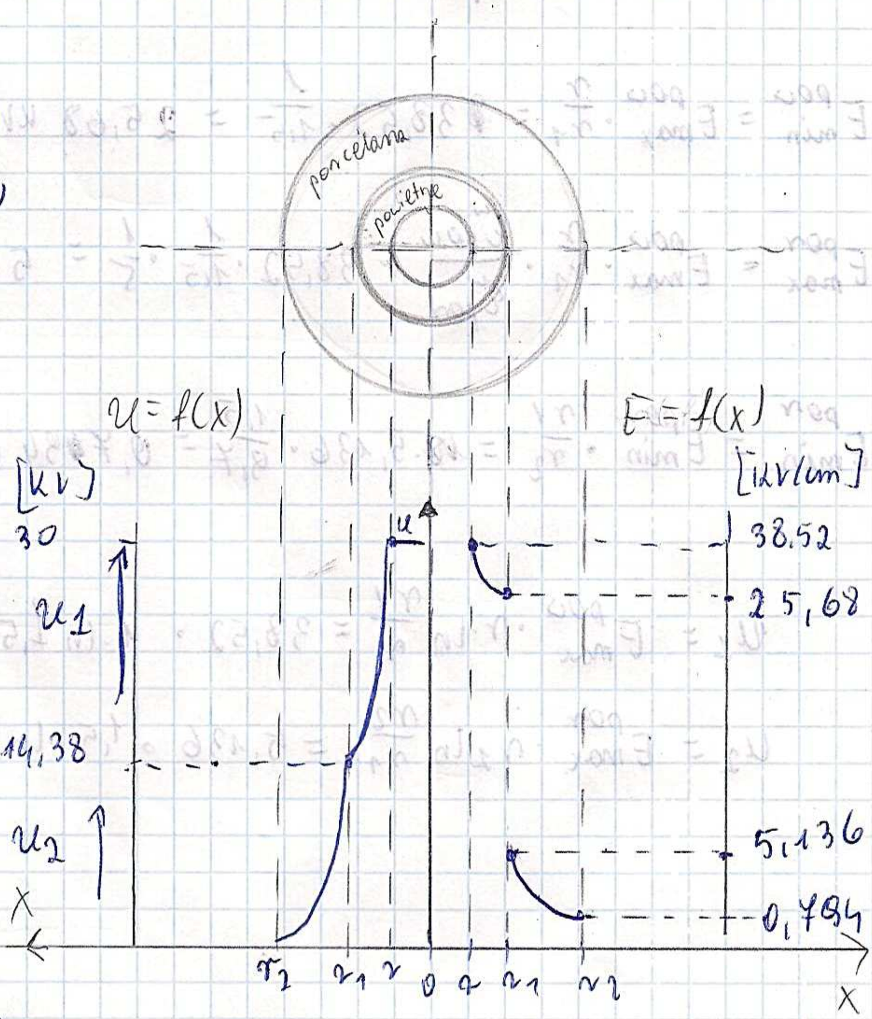
$\varepsilon^{w}_{por} = 5$

$\varepsilon^{w}_{pow} = 1.$

Sz:

$E = f(x)$

$U = f(x)$



$$E_x = \frac{U}{x \cdot \ln\frac{R}{r}}$$

$$U = U_2 + U_1$$

$$E^{max}_{pow} = \frac{U_1}{r \ln\frac{r_1}{r}} \; ; \; E^{pow}_{min} = \frac{U_1}{r_1 \ln\frac{r_1}{r}}$$

$$E^{por}_{max} = \frac{U_2}{r_1 \ln\frac{r_2}{r_1}} \qquad E^{por}_{min} = \frac{U_2}{r_2 \ln\frac{r_2}{r_1}}$$

$$U = U_1 + U_2 = E_{max}^{pow} \cdot r \cdot \ln\frac{r_1}{r} + E_{max}^{por} \cdot r_1 \ln\frac{r_2}{r_1}$$

$$D = const \Rightarrow \left.\begin{array}{l} E_{min}^{pow} \cdot \varepsilon_{pow}^{w} = E_{max}^{por} \cdot \varepsilon_{por}^{w} \\ E_{min}^{pow} = E_{max}^{pow} \cdot \frac{r}{r_1} \end{array}\right\} \Rightarrow E_{max}^{por} = E_{max}^{pow} \cdot \frac{r}{r_1} \cdot \frac{\varepsilon_{pow}^{w}}{\varepsilon_{por}^{w}}$$

$$U = E_{pow}^{max} \left(r \cdot \ln\frac{r_1}{r} + \frac{r}{r_1} \frac{\varepsilon_{pow}^{w}}{\varepsilon_{por}^{w}} \cdot r_1 \ln\frac{r_2}{r_1} \right) /: ( )$$

$$E_{max}^{pow} = \frac{U}{r \ln\frac{r_1}{r} + r \frac{\varepsilon_{pow}^{w}}{\varepsilon_{por}^{w}} \ln\frac{r_2}{r_1}} = \frac{30 \cdot 10^3}{1 \cdot \ln 1{,}5 + 1 \cdot \frac{1}{5} \ln\frac{9{,}7}{1{,}5}} = 38{,}52 \text{ kV/cm}$$

$$E_{min}^{pow} = E_{max}^{pow} \cdot \frac{r}{r_1} = 38{,}52 \cdot \frac{1}{1{,}5} = 25{,}68 \text{ kV/cm}$$

$$E_{max}^{por} = E_{max}^{pow} \cdot \frac{r}{r_1} \cdot \frac{\varepsilon_{pow}^{w}}{\varepsilon_{por}^{w}} = 38{,}52 \cdot \frac{1}{1{,}5} \cdot \frac{1}{5} = 5{,}136 \text{ kV/cm}$$

$$E_{min}^{por} = E_{min}^{por} \cdot \frac{r_1}{r_2} = 5{,}136 \cdot \frac{1{,}5}{9{,}7} = 0{,}794 \text{ kV/cm}$$

$$U_1 = E_{max}^{pow} \cdot r \cdot \ln\frac{r_1}{r} = 38{,}52 \cdot 1 \cdot \ln 1{,}5 = 15{,}62 \text{ kV}$$

$$U_2 = E_{max}^{por} \cdot r_1 \ln\frac{r_2}{r_1} = 5{,}136 \cdot 1{,}5 \cdot \ln\frac{9{,}7}{1{,}5} = 14{,}38 \text{ kV}$$

B) Z TULEJĄ BAKIELITOWĄ

D.

$r = \frac{d}{2} = 1\,cm$

$r_1 = r + b = 1{,}5$

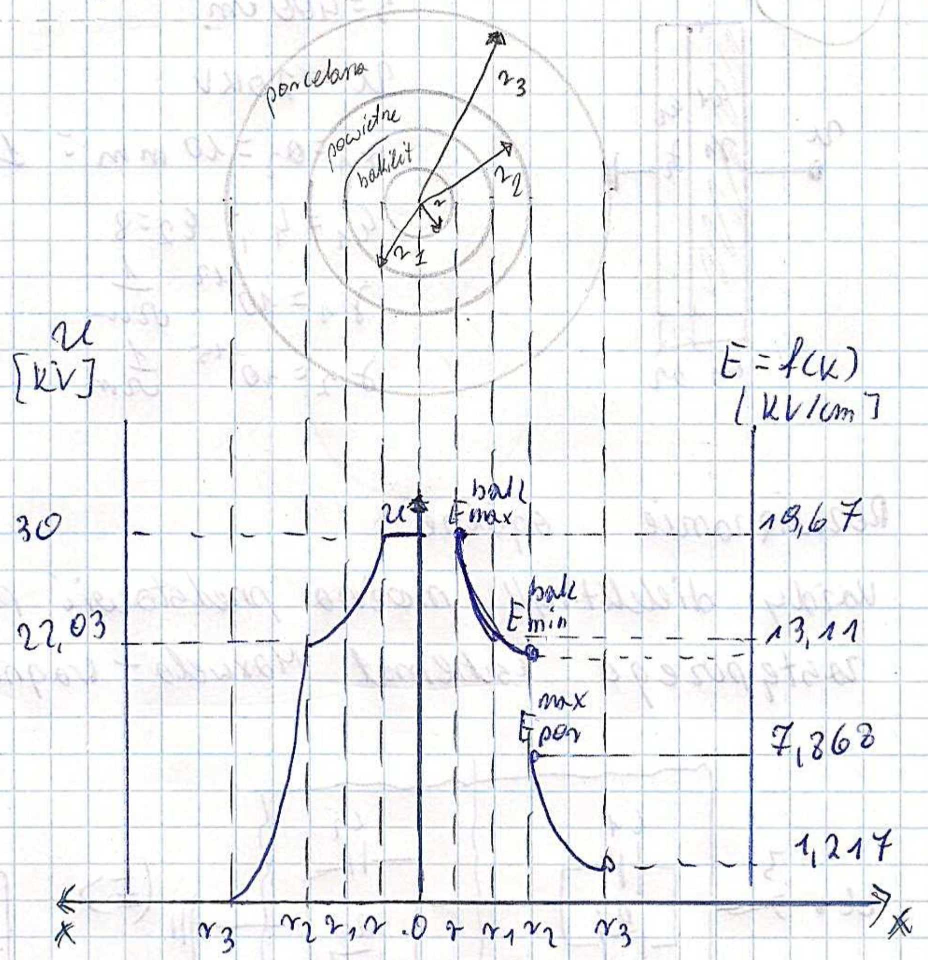
$r_2 = r_1 \rightarrow$ brak powietrza

$r_2 = r_3 = r_2 + a = 9{,}7\,cm$

$U = 30\,kV$

$\varepsilon^w_{bak} = 3$

$\varepsilon^w_{por} = 5$



$U = U_1 + U_2$

$$E_x = \frac{U}{x \ln\frac{R}{r}}$$

$$E^{bak}_{max} = \frac{U_1}{r \ln\frac{r_1}{r}} \qquad E^{bak}_{min} = \frac{U_1}{r_1 \ln\frac{r_1}{r}}$$

$$E^{por}_{max} = \frac{U_2}{r_1 \ln\frac{r_2}{r_1}} \qquad E^{por}_{min} = \frac{U_2}{r_2 \ln\frac{r_2}{r_1}}$$

$$E^{bak}_{max} = \frac{U}{r \ln\frac{r_1}{r} + r \ln\frac{r_2}{r_1} \cdot \frac{\varepsilon_{bak}}{\varepsilon_{por}}} = \frac{30}{\ln 1{,}5 + \frac{3}{5} \cdot \ln\frac{9{,}7}{1{,}5}} = 19{,}67\,kV/cm$$

$$E^{min}_{bak} = E^{bak}_{max} \frac{r}{r_1} = 19{,}67 \cdot \frac{1}{1{,}5} = 13{,}11\,kV/cm$$

$$E^{por}_{max} = E^{bak}_{max} \cdot \frac{r}{r_1} \cdot \frac{\varepsilon^w_{bak}}{\varepsilon^w_{por}} = 13{,}11 \cdot \frac{3}{5} = 7{,}868\,kV/cm$$

$$E^{por}_{min} = E^{por}_{max} \cdot \frac{r_1}{r_2} = 1{,}217\,[kV/cm]$$

$$U_1 = E^{max}_{bak} \cdot r \ln\frac{r_1}{r} = 19{,}67 \cdot \ln 1{,}5 = 7{,}97\,kV$$

$$U_2 = E^{pow}_{max} \cdot r_1 \ln\frac{r_2}{r_1} = 7{,}868 \cdot 1{,}5 \cdot \ln\frac{9{,}7}{1{,}5} = 22{,}03\,kV$$

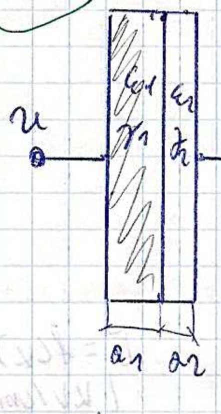
Odp. zastosowanie tulei bakielitowej zmienia rozkład natężenia pola, staje się ono bardziej równomierne

$E_{por} \downarrow$ o 53%

$E_{max} \downarrow$ o 50%

brak, porównaj (efekt ulotu $E_k = 21{,}1$ kV/cm)

Zad. 6.



$S = 400\ cm^2$

$U = 20kV$

$a_1 = a_2 = 10\ mm = 1cm$

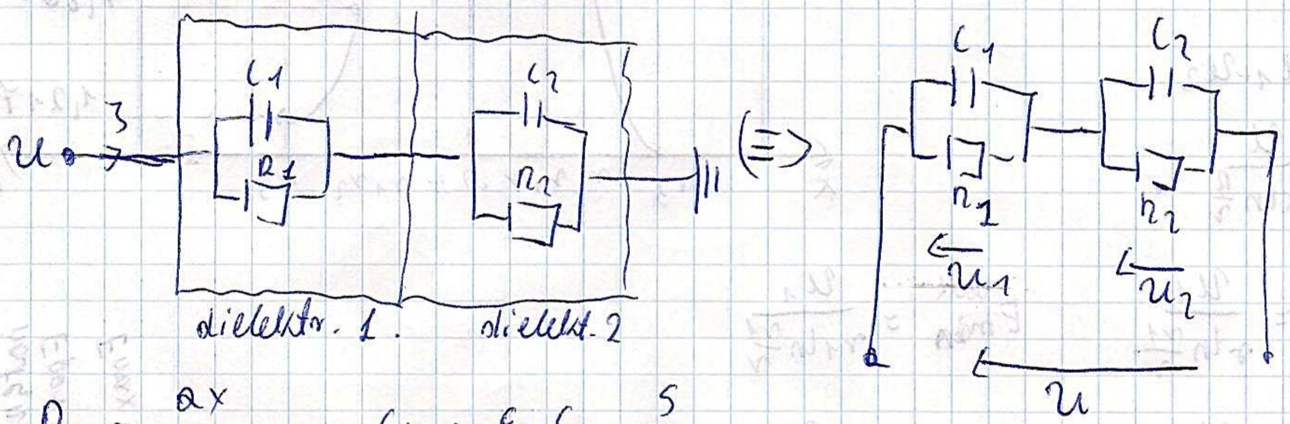
$\varepsilon_1 = 4\ ;\ \varepsilon_2 = 8$

$\gamma_1 = 10^{-12}\ \frac{1}{\Omega m}$

$\gamma_2 = 10^{-15}\ \frac{1}{\Omega m}$

Rozwiązanie ogólne:

Każdy dielektryk można przedstawić przy pomocy schematu zastępczego (schemat Maxwella - Wagnera)



$R_x = \frac{a_x}{\gamma S}\ ,\quad C_x = \varepsilon_0 \varepsilon_w \frac{S}{a_x}$

dla ukł. płaskiego: $U_x = E_x \cdot a_x$

Przez dielektryk przepływa ten sam prąd:

$$\underline{I} = \frac{\underline{U}_1}{\underline{Z}_1} = \underline{U}_1 \underline{Y}_1 = \frac{\underline{U}_2}{\underline{Z}_2} = \underline{U}_2 \underline{Y}_2 \qquad (1)$$

gdzie

$\underline{Z}_1 = R_1 - j\frac{1}{\omega C_1}$ $\qquad$ $\underline{Z}_2 = R_2 - j\frac{1}{\omega C_2}$

$\underline{Y}_1 = G_1 + j\omega C_1$ $\qquad$ $\underline{Y}_2 = G_2 + j\omega C_2$

wobec czego:

(2) $$I = u_1 Y_1 = u_1\sqrt{\left(\frac{\gamma_1 S}{a_1}\right)^2 + \left(\frac{\varepsilon_{w_1}\varepsilon_0\omega S}{a_1}\right)^2} = \frac{u_1 S}{a_1}\sqrt{\gamma_1^2 + (\omega\varepsilon_0\varepsilon_{w_1})^2}$$

(3) $$I = u_2 Y_2 = \frac{u_2 S}{a_2}\sqrt{\gamma_2^2 + (\omega_2\varepsilon_0\varepsilon_w)^2}$$

$$\frac{u_1}{u_2}\cdot\frac{a_2}{a_1} = \frac{\sqrt{\gamma_2^2 + (\varepsilon_{w_2}\varepsilon_0\cdot\omega)^2}}{\sqrt{\gamma_1^2 + (\varepsilon_{w_1}\varepsilon_0\omega)^2}} = \frac{E_1}{E_2}$$

$$U = u_1 + u_2 = E_1 a_1 + E_2 a_2$$

$$U = E_1 a_1 + E_2 a_2 \cdot \sqrt{\frac{\gamma_1^2 + (\omega\varepsilon_{w_1}\varepsilon_0)^2}{\gamma_2^2 + (\omega\varepsilon_{w_2}\varepsilon_0)^2}}$$

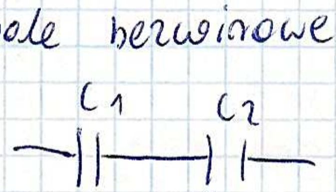
$$U = E_1\cdot\frac{a_1\sqrt{\gamma_2^2 + (\omega\varepsilon_{w_2}\varepsilon_0)^2} + a_2\sqrt{\gamma_1^2 + (\omega\varepsilon_{w_1}\varepsilon_0)^2}}{\sqrt{\gamma_2^2 + (\omega\varepsilon_{w_2}\varepsilon_0)^2}}$$

$$E_1 = \frac{U\sqrt{\gamma_2^2 + (\omega\varepsilon_{w_2}\varepsilon_0)^2}}{a_1\sqrt{\gamma_2^2 + (\omega\varepsilon_{w_2}\varepsilon_0)^2} + a_2\sqrt{\gamma_1^2 + (\omega\varepsilon_{w_1}\varepsilon_0)^2}}$$

$$E_2 = E_1\cdot\frac{\sqrt{\gamma_1^2 + (\omega\varepsilon_{w_1}\varepsilon_0)^2}}{\sqrt{\gamma_2^2 + (\omega\varepsilon_{w_1}\varepsilon_0)^2}}$$

Pole elektrostatyczne:

pole bezwirowe, rozkład zależy tylko od pojemności.



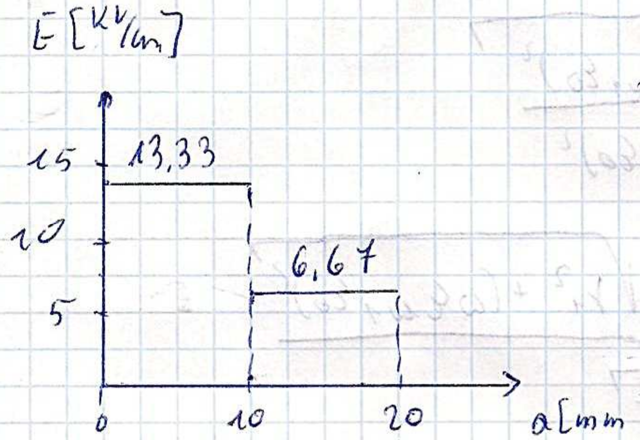
$$U = u_1 + u_2$$

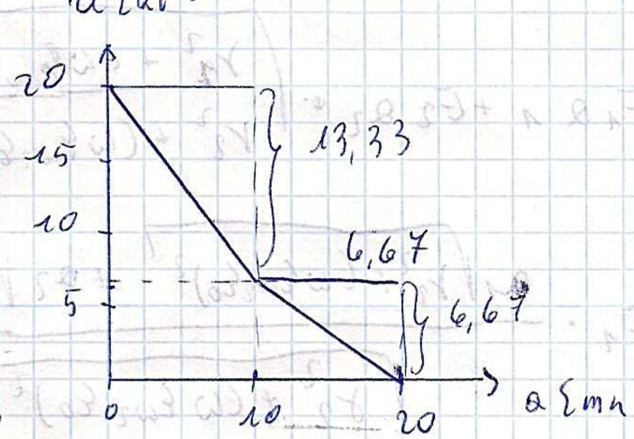
$$E_1 = U \cdot \frac{\varepsilon_{w2}}{a_1\varepsilon_{w2} + a_2\varepsilon_{w1}} = 20 \frac{8}{10 \cdot 8 + 1 \cdot 4} = 13{,}33 \; [kV/cm]$$

$$E_2 = U \frac{\varepsilon_{w1}}{a_1\varepsilon_{w2} + a_2\varepsilon_{w1}} = 20 \frac{4}{12} = 6{,}66 \; [kV/cm]$$

$$U_1 = U \frac{a_1\varepsilon_{w2}}{a_1\varepsilon_{w2} + a_2\varepsilon_{w1}} = 20 \frac{8}{8+4} = \overset{13{,}33}{\cancel{6{,}66}} \; [kV]$$

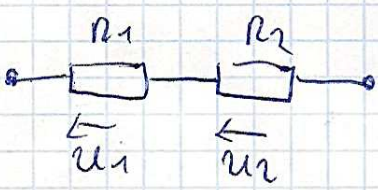
$$U_2 = U \cdot \frac{a_2\varepsilon_{w1}}{a_1\varepsilon_{w2} + a_2\varepsilon_{w1}} = 20 \cdot \frac{4}{12} = 6{,}66 \; [kV]$$





b) pole stałe

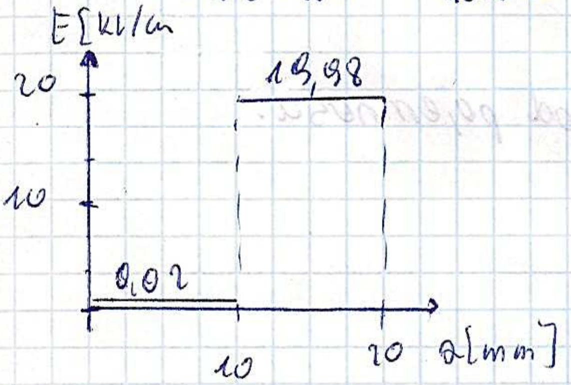
pole bezwirowe, rozkład zależy od rezystancji.

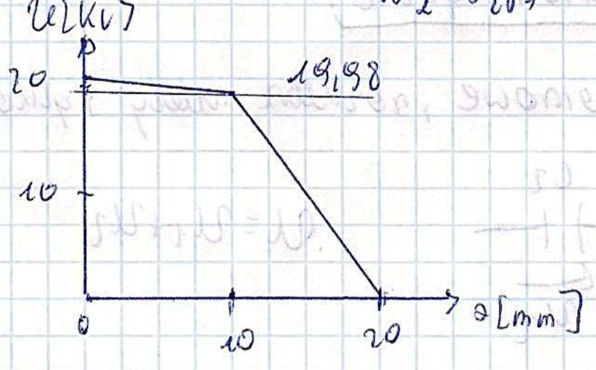


$$E_1 = U \frac{\gamma_2}{a_1\gamma_2 + a_2\gamma_1} = 20 \frac{10^{-15}}{10^{-12} + 10^{-15}} = 0{,}02 \; [kV/cm]$$

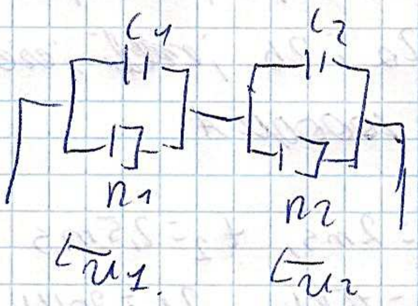
$$E_2 = U \frac{\gamma_1}{a_1\gamma_2 + a_2\gamma_1} = 20 \frac{10^{-12}}{10^{-12} + 10^{-15}} = 19{,}98 \; [kV/cm]$$

$$U_1 = U \frac{a_1\gamma_2}{a_1\gamma_2 + a_2\gamma_1} = 20 \cdot \frac{10^{-15}}{1{,}001 \cdot 10^{-12}} = 0{,}02 \; [kV] \; ; \; U_2 = U \frac{a_2\gamma_1}{a_1\gamma_2 + a_2\gamma_1} = 19{,}98 \; [kV]$$





c) przemienne $f = 50 Hz$



$$\varepsilon_0 = \frac{1}{36}\pi \cdot 10^{-9} \left[\frac{F}{m}\right]$$

$$\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12} \left[\frac{F}{m}\right]$$

$$b_1 = \sqrt{\gamma_1^2 + (\omega \varepsilon_{w1} \varepsilon_0)^2} = 11{,}11 \cdot 10^{-9}$$

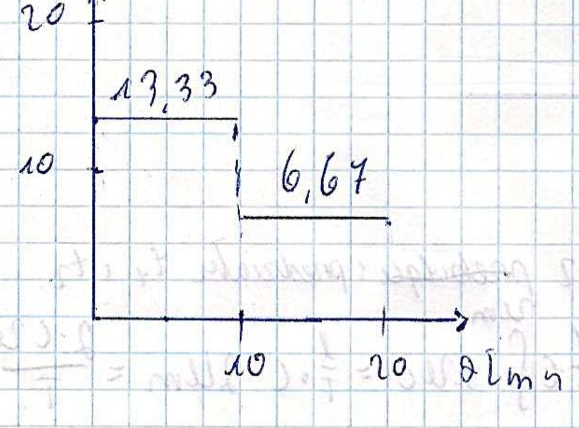
$$b_2 = \sqrt{\gamma_2^2 + (\omega \varepsilon_{w2} \varepsilon_0)^2} = 22{,}22 \cdot 10^{-9}$$

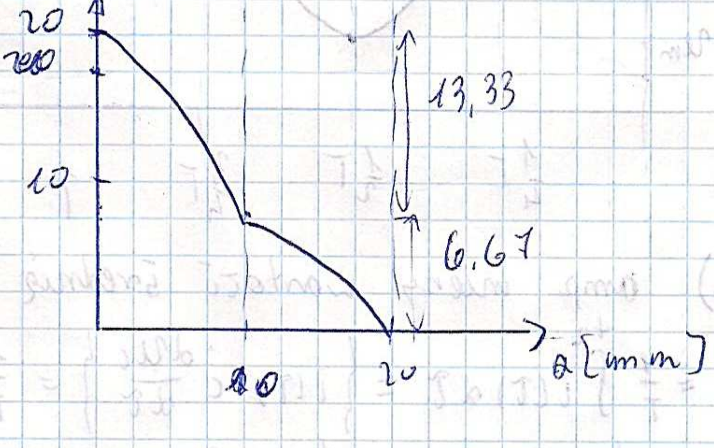
$$E_1 = U \cdot \frac{b_2}{a_1 b_2 + a_2 b_1} = 20 \frac{22{,}22 \cdot 10^{-9}}{(11{,}11 + 22{,}22) \cdot 10^{-9}} = 13{,}33 \,[kV/cm]$$

$$E_2 = U \frac{b_1}{a_1 b_2 + a_2 b_1} = 6{,}67 \,[kV/cm]$$

$$\cancel{U_1 = E_1 \cdot \frac{a_1 b_2 + a_2 b_1}{b_2} = 19{,}995} \,[kV]$$

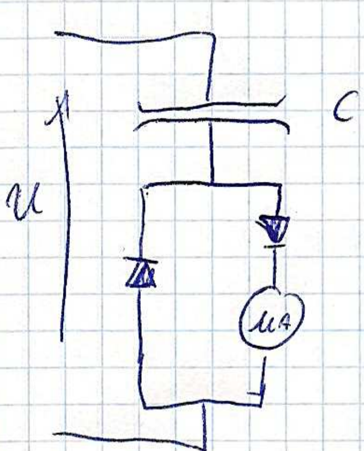
$$U_1 = U \frac{a_1 b_2}{a_1 b_2 + a_2 b_1} = 13{,}33 \,[kV] \;;\; U_2 = U \frac{a_2 b_1}{a_1 b_2 + a_2 b_1} = 6{,}67 \,[kV]$$





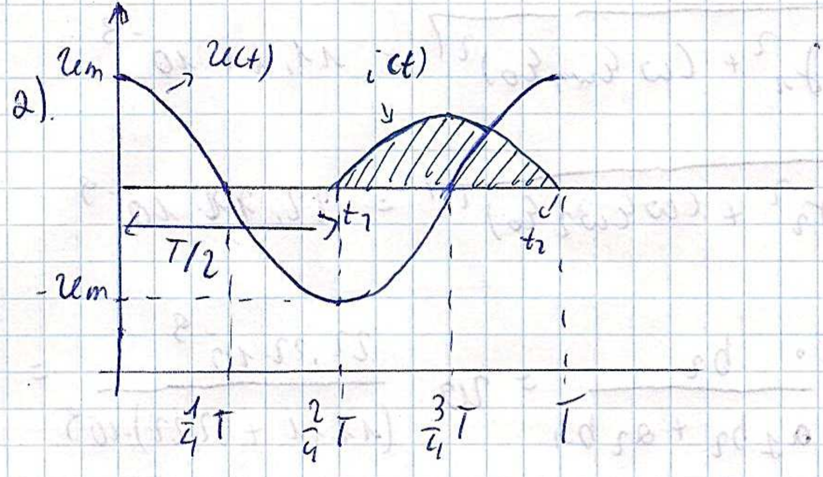
Zad A

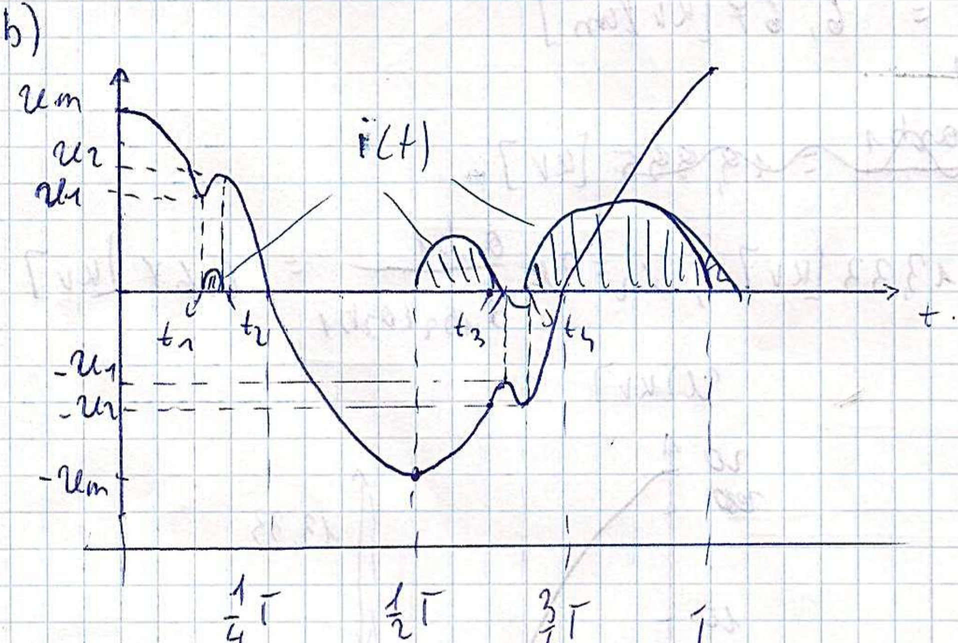
Oblicz szczytowe wartości napięcia mierzonych, których kształt przedstawiono na rysunku 2a i 2b, jeżeli wskazanie amperomierza wynosi 10000 μA.



$T = 20\,ms$; $t_1 = 2\,ms$, $t_2 = 2{,}5\,ms$

$C = 0{,}85\,nF$; $U_1 = 75\,kV$, $U_2 = 80\,kV$





ad a) amp. mierzy wartości średnią z ~~przedziału~~ przedziału t_1 i t_2.

$$I_{śr} = \frac{1}{T}\int_{t_1}^{t_2} i(\tau)\,d\tau = \left\{ i(\tau) = C\frac{dU_C}{d\tau} \right\} = \frac{1}{T} C \int_{-U_m}^{U_m} dU_C = \frac{1}{T}\cdot C \cdot 2U_m = \frac{2\cdot C\,U_m}{T}$$

$t_1 \sim -U_m$

$t_2 \sim U_m$

$$u_m = \frac{I_{śr} \cdot T}{2C} = \frac{10000 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0{,}95 \cdot 10^{-9}} = 105{,}26 [kV]$$

$$\delta\% = \frac{u - u_m}{u_m} \cdot 100\% = \frac{110 - 105{,}26}{110} = 4{,}31\%$$

b).

$$I_{śr} = \frac{1}{T}\int_0^T i(\tau)d\tau = \frac{1}{T}\int_{t_1}^{t_2} i(\tau)d\tau + \frac{1}{T}\int_{\frac{1}{2}T}^{t_3} i(\tau)d\tau + \frac{1}{T}\int_{t_4}^{T} i(\tau)d\tau = \left| i(T) = C\frac{du_c}{dt} \right.$$

$$= \frac{1}{T}C\left[\int_{u_1}^{u_2} du_c + \int_{-u_m}^{-u_1} du_c + \int_{-u_2}^{u_m} du_c\right] =$$

$$= \frac{C}{T} \cdot [u_2 - u_1 + (-u_1 + u_m) + u_m + u_2)] = \frac{C}{T}[2u_m + 2u_2 - 2u_1] =$$

$$= \frac{2C}{T}(u_m + u_2 - u_1]$$

$$u_m = \frac{I_{śr} T}{2T} + u_1 - u_2 = \frac{10000 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0{,}95 \cdot 10^{-9}} + 75 \cdot 10^3 - 80 \cdot 10^3 =$$

$$= \cancel{105{,}26 [kV]}\ 100{,}26 [kV]$$

$$\delta\% = \frac{u - u_m}{u} \cdot 100 = \frac{110 - 100{,}26}{110} \cdot 100 = 8{,}85\%$$

Zad. B

W celu wykonania próby napięciem $U = 75$ kV badany kabel o długości 10m połączono z trafo TP 110. Jaką maksymalną pojemność jednostkową C_{0k} może mieć badany kabel by można przeprowadzić próbę napięciową? Pojemność jednostkową C_{0k} wyraź w [nF/m]. Dane trafo: $S_N = 10$ kVA, $U_N = 110$ kV.

$I \leq I_N$.

$$I = \frac{U}{X_{C_K}} = U \omega C_K, \quad I_N = \frac{S_N}{U_N}$$

$$U \omega C_K \leq \frac{S_N}{U_N}$$

$$C_K \leq \frac{S_N}{U_N U \omega} = \frac{10 \cdot 10^3}{110 \cdot 10^3 \cdot 75 \cdot 10^3 \cdot 314} = 3{,}86 [nF]$$

$$C_{K0} = \frac{C_K}{l_K} = \frac{3{,}86}{10} = 0{,}386 [nF]$$

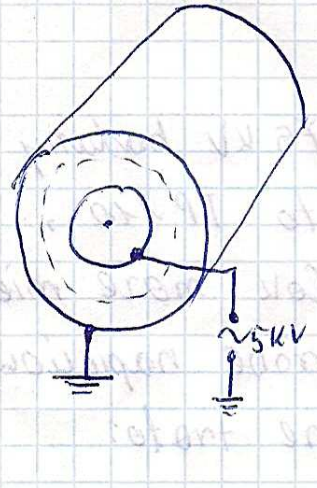
zad. C

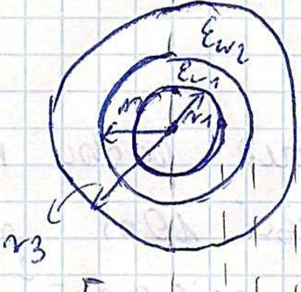
Dany jest kondensator walcowy uwarstwiony o następujących danych geometrycznych:

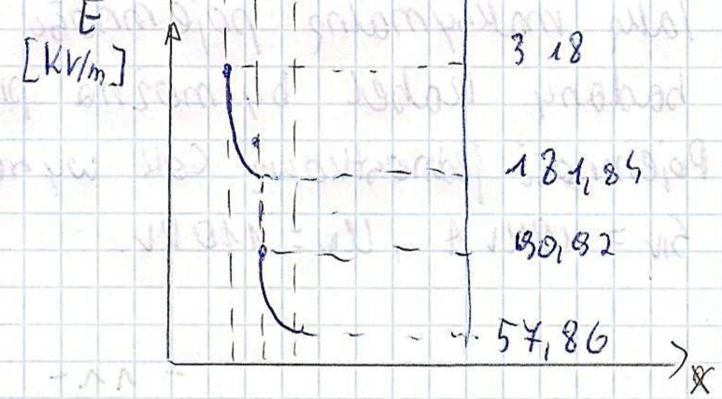
- średnica elektrody wewnętrznej $d = 40mm$
- średnica —"— zewnętrznej $D = 110mm$.

Jedną z warstw stanowi izolacja papierowo-olejowa o grubości $g_1 = 15mm$ i $\varepsilon_{w1} = 2{,}5$; zaś drugą stanowi izolacja szklana o grubości $g_2 = 20mm$ i $\varepsilon_{w2} = 5$.

Zakładając, że do tego kond. przyłożono nap. $U = 5kV$, narysuj rozkład natężenia pola w przestrzeni między elekt. danego kondensatora







D.

$r_1 = 20mm$

$r_2 = r_1 + q_1 = 35mm$

$r_3 = r_2 + q_2 = 55mm$

$U = 5kV$

$\varepsilon_{w1} = 2{,}5$

$\varepsilon_{w2} = 5.$

$$E_x = \frac{U}{x \ln \frac{R}{r}}$$

$$E_{1max} = \frac{U_1}{r_1 \ln \frac{r_2}{r_1}} \qquad E_{1min} = \frac{U_1}{r_2 \ln \frac{r_2}{r_1}}$$

$$E_{2max} = \frac{U_2}{r_2 \ln \frac{r_3}{r_2}} \qquad E_{2min} = \frac{U_2}{r_3 \ln \frac{r_3}{r_2}}$$

$$U = U_1 + U_2 = E_{1max} \cdot r_1 \cdot \ln \frac{r_2}{r_1} + E_{2max}\, r_2 \ln \frac{r_3}{r_2}$$

$$\left.\begin{array}{l} E_{1min}\, \varepsilon_1 = E_{2max}\, \varepsilon_2 \\ E_{1min} = E_{1max} \frac{r_1}{r_2} \end{array}\right\} \Rightarrow E_{2max} = E_{1max} \frac{r_1}{r_2} \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}$$

$$U = E_{1max} \left(r_1 \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{r_1}{r_2} \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \cdot r_2 \ln \frac{r_3}{r_2} \right)$$

$$E_{1max} = \frac{U}{r_1 \ln \frac{r_2}{r_1} + r_1 \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \ln \frac{r_3}{r_2}} = 318{,}22 \left[\frac{kV}{m}\right]$$

$$E_{1min} = E_{1max} \frac{r_1}{r_2} = 181{,}84 \left[\frac{kV}{m}\right]$$

$$E_{2max} = E_{1max} \frac{r_1}{r_2} \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = 90{,}92 \left[\frac{kV}{m}\right]$$

$$E_{2min} = E_{2max} \frac{r_2}{r_3} = 57{,}86 \left[kV/m\right]$$

Zad. E) Dla układu płaskiego uwarstwionego szeregowo przyłożono napięcie stałe $U = 20kV$, Oblicz:

a) rozkład natężenia pola elektr i napięcia w poszczególnych warstwach

b) pojemności poszczególnych warstw oraz całego układu dla określonej powierzchni elektrody S.

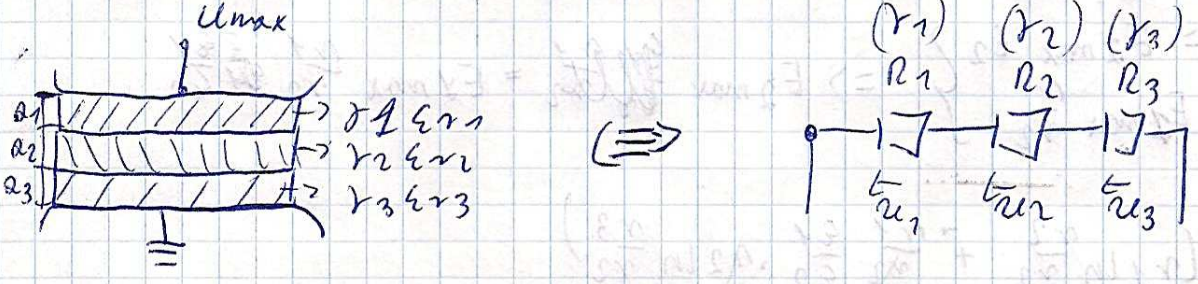
c) ładunek zgromadzony między elektrodami:

$a_1 = a_2 = a_3 = 5mm$, $\varepsilon_{r1} = 1$, $\varepsilon_{r2} = 4,5$, $\varepsilon_{r3} = 6,3$;

$\gamma_1 = 5 \cdot 10^{-19} [S/m]$ $\gamma_2 = 2 \cdot 10^{-12} [S/m]$ $\gamma_3 = 2 \cdot 10^{-9} [S/m]$

$S = 150 \, cm^2$

Dla nap. stałego C - nie występuje, więc mamy:



$$R_1 = \frac{a_1}{\gamma_1 S} = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{5 \cdot 10^{-19} \cdot 150 \cdot 10^{-4}} = 6,67 \cdot 10^{9} [\Omega]$$

$$R_2 = \frac{a_2}{\gamma_2 S} = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-12} \cdot 150 \cdot 10^{-4}} = 1,67 \cdot 10^{3} \Omega$$

$$R_3 = \frac{a_3}{\gamma_3 S} = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-9} \cdot 150 \cdot 10^{-4}} = 1,67 \, \Omega$$

$$U_1 = U \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3} = 20 \cdot 10^3 \cdot \frac{6,67 \cdot 10^9}{6,67 \cdot 10^9} \approx 20 \, [kV]$$

$$U_2 = U \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_3} = 5 \cdot 10^{-3} [V]$$

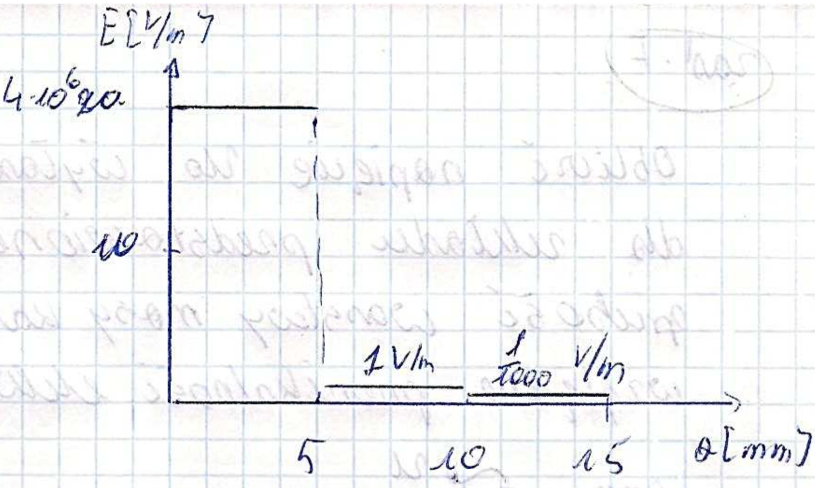
$$U_3 = U \cdot \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = 5 \cdot 10^{-6}$$

$$E = \frac{U}{a}$$

$$E_1 = \frac{U_1}{a_1} = 4 \cdot 10^6 \, [V/m]$$

$$E_2 = \frac{U_2}{a_2} = 1 \, V/m$$

$$E_3 = \frac{U_3}{a_2} = 1 \cdot 10^{-3} \, V/m$$



b).

$$C = \frac{\varepsilon_r \varepsilon_0 S}{a}$$

$$C_1 = \frac{\frac{1}{36\pi} \cdot 10^{-9} \cdot 1}{5 \cdot 10^{-3}} = 1{,}77 \cdot 10^{-9} \, [F/m]$$

$$C_2 = \frac{\frac{1}{36\pi} \cdot 10^{-9} \, 4{,}5}{5 \cdot 10^{-3}} = 7{,}96 \cdot 10^{-9} \, [F/m]$$

$$C_3 = \frac{\frac{1}{36\pi} \cdot 10^{-9} \cdot 6{,}3}{5 \cdot 10^{-3}} = 11{,}15 \cdot 10^{-9} \, [F/m]$$

$$\frac{1}{C_z} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \left(\frac{1}{1{,}77} + \frac{1}{7{,}96} + \frac{1}{11{,}15} \right) \cdot 10^{9} =$$

$$= \left(\frac{88{,}754}{157{,}09} + \frac{19{,}7355}{157{,}09} + \frac{14{,}0892}{157{,}09} \right) \cdot 10^{9} = 0{,}78 \cdot 10^{9}$$

$$C_z = 1{,}28 \, [nF]$$

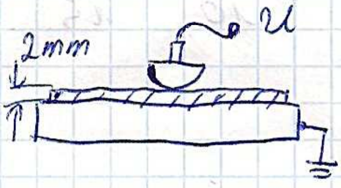
c).

$$C = \frac{Q}{U} \Rightarrow Q = C \cdot U$$

$$Q_c = C_z \cdot U = 1{,}28 \cdot 10^{-9} \cdot 20 \cdot 10^{3} = 25{,}63 \, [\mu C]$$

zad. F

Obliczć napięcie U_0 wyładowań ślizgowych dla układu przedstawionego na rysunku, jeżeli grubość warstwy masy kablowej $q = 2mm$ a jej względna przenikalność elektryczna wynosi $\varepsilon_w = 3$



$$U_0 = \frac{1{,}36}{C_0^{0{,}44}} \cdot 10^{-4} [kV]$$

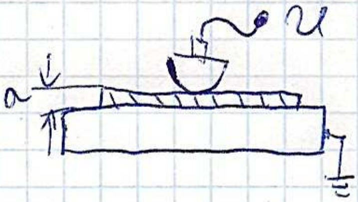
$$C_0 = \frac{\varepsilon_w \varepsilon_0}{q_{[cm]}}$$

$$C_0 = \frac{8{,}85 \cdot 10^{-12} \cdot 3}{0{,}2} = 1{,}3275 \cdot 10^{-10} \left[\frac{F}{cm}\right]$$

$$U_0 = \frac{1{,}36}{(1{,}3275 \cdot 10^{-10})^{0{,}44}} \cdot 10^{-4} = 3{,}015 [kV]$$

zad. G

Obliczyć napięcie początkowe U_0 wyładowań ślizgowych dla układu przedstawionego na rysunku jeżeli grubość płyty szklanej $a = 3mm$, a jej względ. przenikalność $\varepsilon_w = 7$.



$$U_0 = \frac{1{,}36}{C_0^{0{,}44}} \cdot 10^{-4} [kV]$$

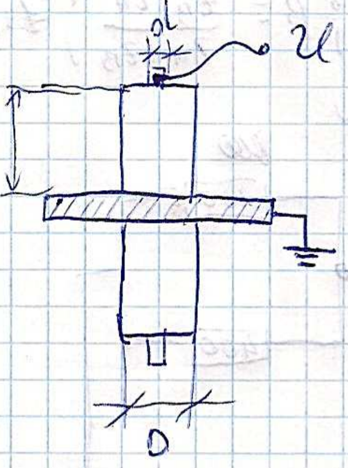
$$C_0 = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_w}{a}$$

$$C_0 = \frac{8{,}85 \cdot 10^{-12} \cdot 7}{0{,}3} = 2{,}065 \cdot 10^{-10} \left[\frac{F}{cm}\right]$$

$$U_0 = \frac{1{,}36}{(2{,}065 \cdot 10^{-10})^{0{,}44}} \cdot 10^{-4} = 2{,}48 [kV]$$

Zad. 4

Oblicz napięcie początkowe ~~przeskoku~~ U_0 wyładowań powierzchniowych oraz napięcie przeskoku U_p dla układu przedstawionego na rysunku, jeżeli $l = 20$ cm, średnica sworznia (metalowej szyny) $d = 3$ cm, grubość warstwy porcelany $q = 7$ cm i $\varepsilon_w = 5$. Czy w tym układzie $U_0 < U_p$? Jak zmieni się sytuacja ~~izolatora~~, jeżeli długość izolatora zwiększymy o 50%?



D:

$d = 3$ cm

$L = 20$ cm $\Rightarrow$ $R = 8{,}5$ cm

$q = 7$ cm $\qquad r = 1{,}5$ cm

$\varepsilon_w = 5$

$D = 2(q + \frac{d}{2}) = 2(7 + 1{,}5) = 17$ cm

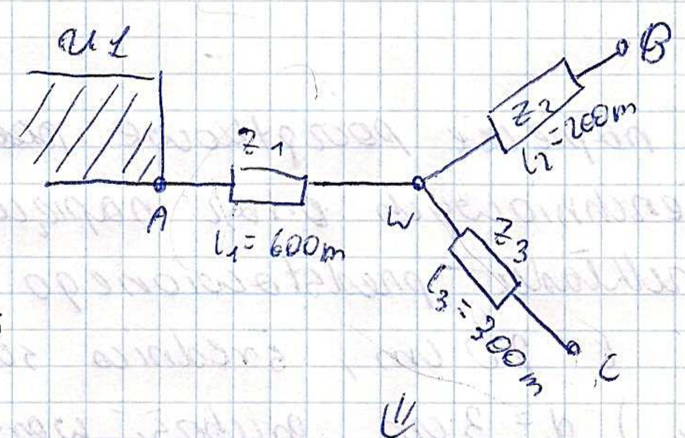
$U_0 = \frac{1{,}36}{C_0^{0{,}44}} \cdot 10^{-4}$ [kV] ; $C_0 = \frac{\varepsilon_w \varepsilon_0}{R \ln \frac{R}{r}} \left[\frac{F}{cm}\right]$; $U_p = 3{,}36 \cdot l + 14$ [kV]

$C_0 = \frac{8{,}85 \cdot 10^{-12} \cdot 5}{8{,}5 \ln \frac{8{,}5}{1{,}5}} = 3{,}00 \cdot 10^{-12} \left[\frac{F}{cm}\right]$; $U_0 = \frac{1{,}36}{(3 \cdot 10^{-12})^{0{,}44}} \cdot 10^{-4} = 15{,}97$ [kV]

$U_p = 3{,}36 \cdot 20 + 14 = 81{,}2$ [kV] ; $U_0 < U_p$ $\rightarrow$ przeskok wystąpi natychmiast.

$U_{p\,50\%} = 3{,}36 \cdot 30 + 14 = 114{,}8$ [kV]

Zad. 3.



D:

$Z_1 = 400\,\Omega$

$U_1 = 1\,MV$

$Z_2 = 200\,\Omega$

$Z_3 = 100\,\Omega$ $\qquad v = \frac{s}{t}$

$v_1 = 300\,m/\mu s \Rightarrow t_1 = 2\,\mu s$

$v_2 = 200\,m/\mu s \Rightarrow t_2 = 1\,\mu s$

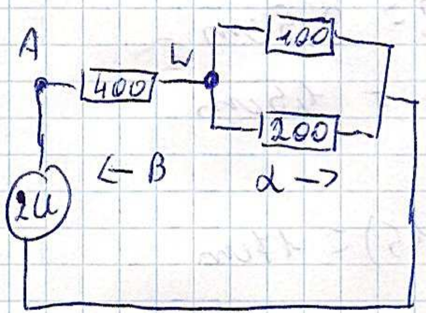
$v_3 = 100\,m/\mu s \Rightarrow t_3 = 3\,\mu s$

$(t = 6\,\mu s)$

nasz układ można zapisać jako:

$$\alpha = \frac{2Z_B}{Z_A+Z_B}; \quad \beta = \frac{Z_B - Z_A}{Z_A+Z_B}; \quad 1+\beta = \alpha$$

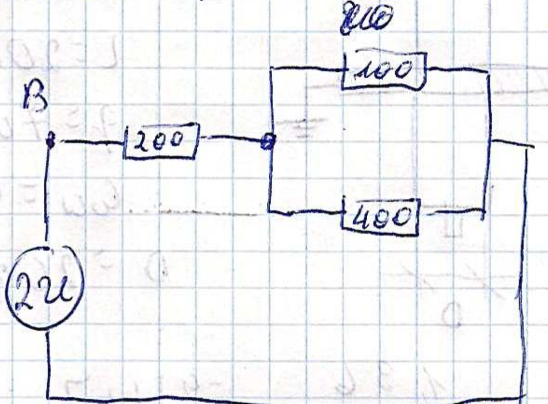
A) -> od str. A do W



$$\alpha_A = \frac{2\cdot\frac{100\cdot200}{100+200}}{400+\frac{100\cdot200}{100+200}} = \frac{133{,}33}{466{,}67} = 0{,}286$$

$$\beta_A = \frac{66{,}67-400}{400+66{,}67} = -0{,}714$$

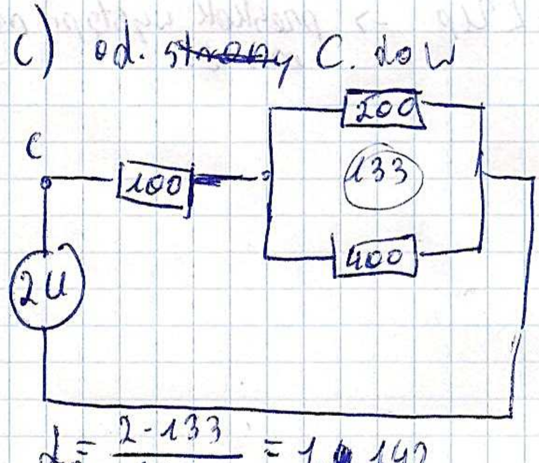
B) od str. B do W



$$\alpha_B = \frac{2\cdot80}{280} = 0{,}571$$

$$\beta_B = -0{,}429$$

C) od ~~strony~~ C do W

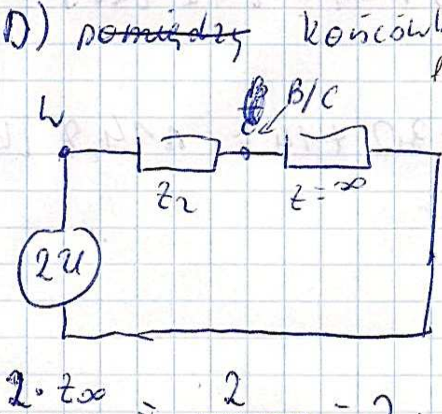


$$\alpha_C = \frac{2\cdot133}{233} = 1{,}142$$

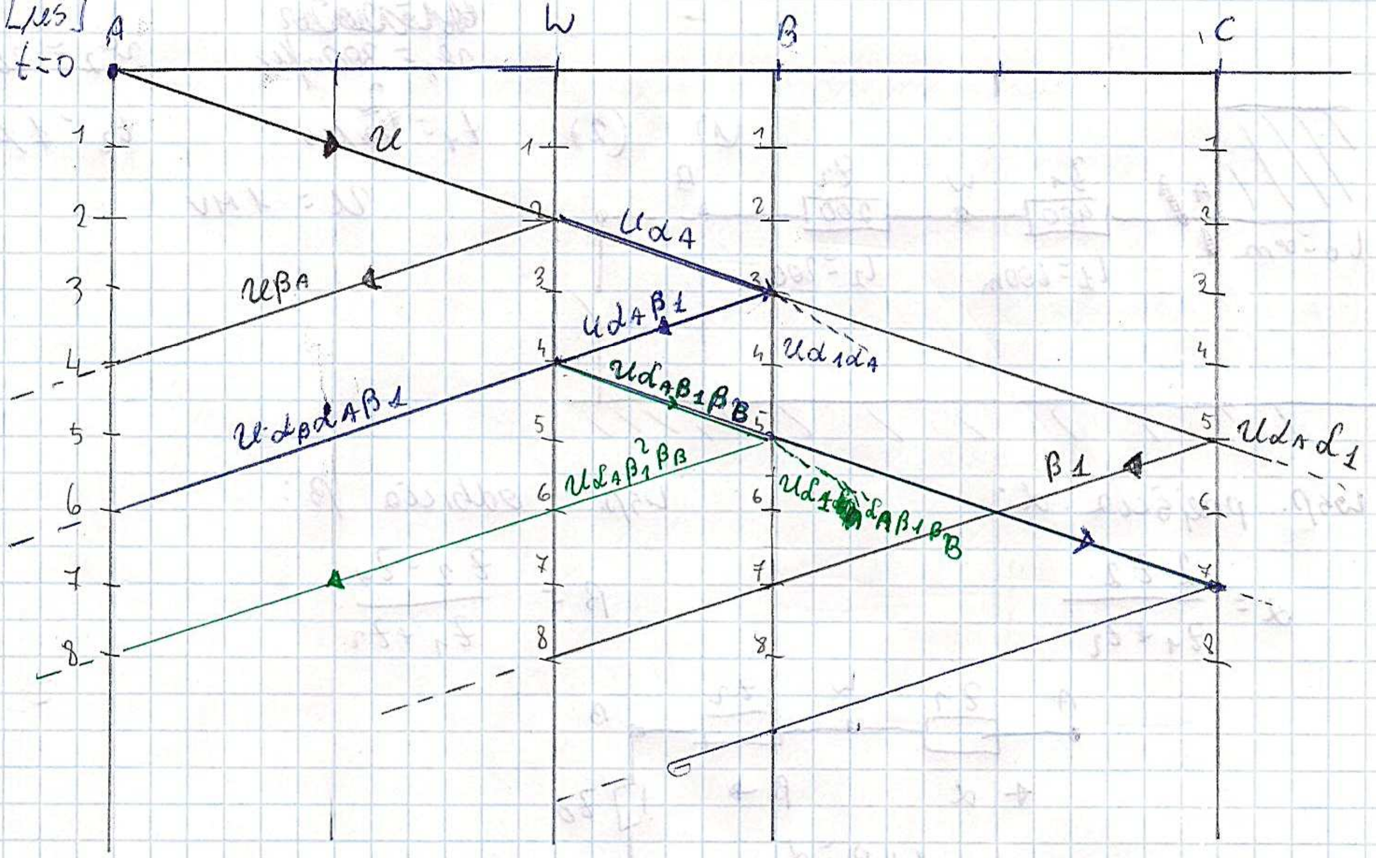
$$\beta_C = 0{,}142$$

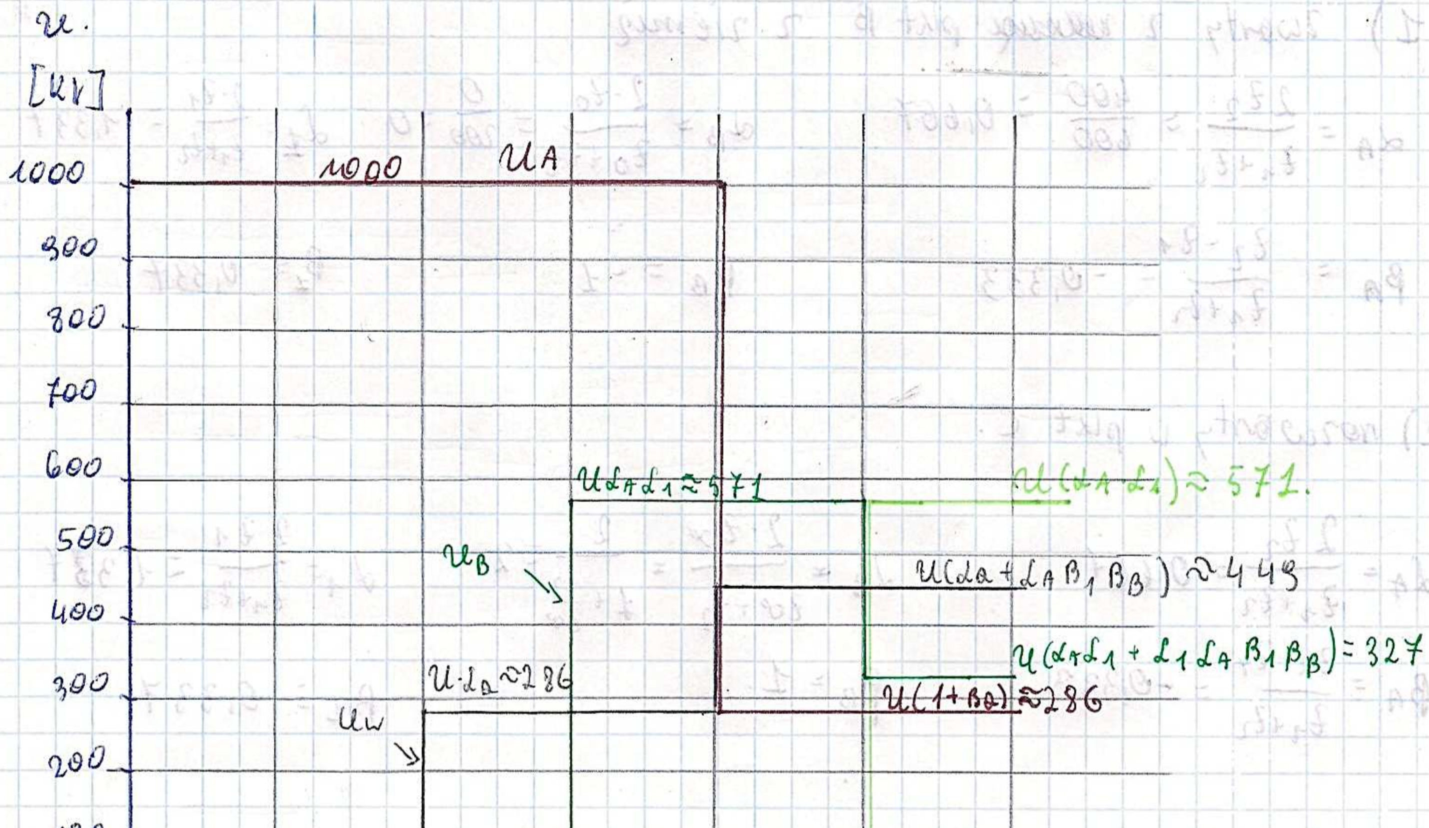
D) ~~pomiędzy~~ końcówki B i C

lub się wraca



$$\alpha_1 = \frac{2\cdot Z_\infty}{Z_\infty + Z_2} = \frac{2}{1+\frac{Z_2}{Z_\infty}} = 2; \quad \beta_1 = \alpha - 1 = 1.$$


[μs]
A
W
B
C
t=0
u
uβA
uα4
uα4β1
uα1α4
uαβα4β1
uα4β1βB
uα4β1²βB
uα4α1
β1
uα1α4β1βB


u
[kV]
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
1000
uA
uα4α1≈571
u(α4α1)≈571.
uB
u(αa+αAB1βB)≈449
u(αAα1 + α1αAB1βB)=327
uW
u·αa≈286
u(1+Ba)≈286
0
0
1
2
3
4
5
6
t [μs]

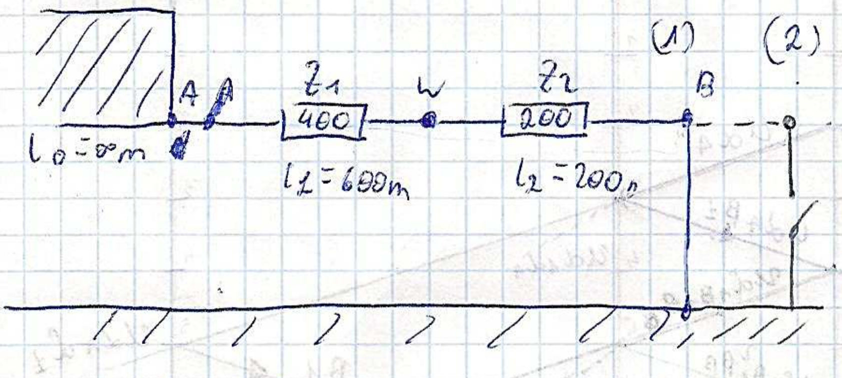
Zad. 5

$Z_1 = 400\Omega$ $Z_2 = 200\Omega$

$v_1 = 300 m/\mu s$ $v_2 = 200 m/\mu s$

$t_1 = 2 \mu s$ $t_2 = 1 \mu s$

$U = 1 MV$

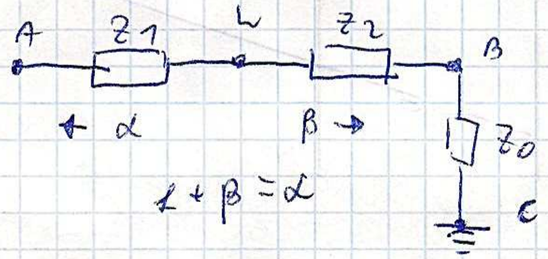


wsp. przejścia: α:

$$\alpha = \frac{2 Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

wsp. odbicia β:

$$\beta = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2}$$



$1 + \beta = \alpha$

1) zwarty z ~~ziemią~~ pkt B z ziemią

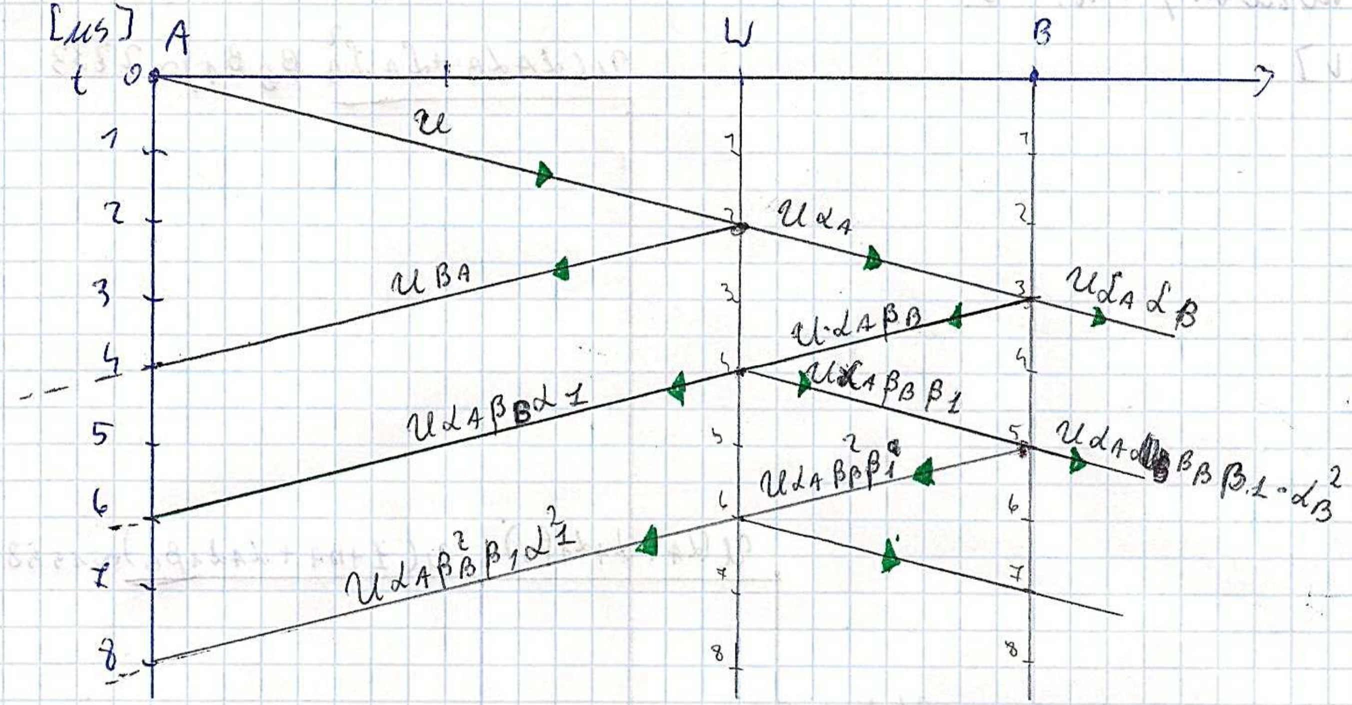
$$\alpha_A = \frac{2 Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{400}{600} = 0,667 \qquad \alpha_B = \frac{2 \cdot Z_0}{Z_0 + Z_2} = \frac{0}{200} = 0 \qquad \alpha_1 = \frac{2 \cdot Z_1}{Z_1 + Z_2} = 1,337$$

$$\beta_A = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} = -0,333 \qquad \beta_B = -1 \qquad \beta_1 = 0,337$$

2) rozwarty w pkt C.

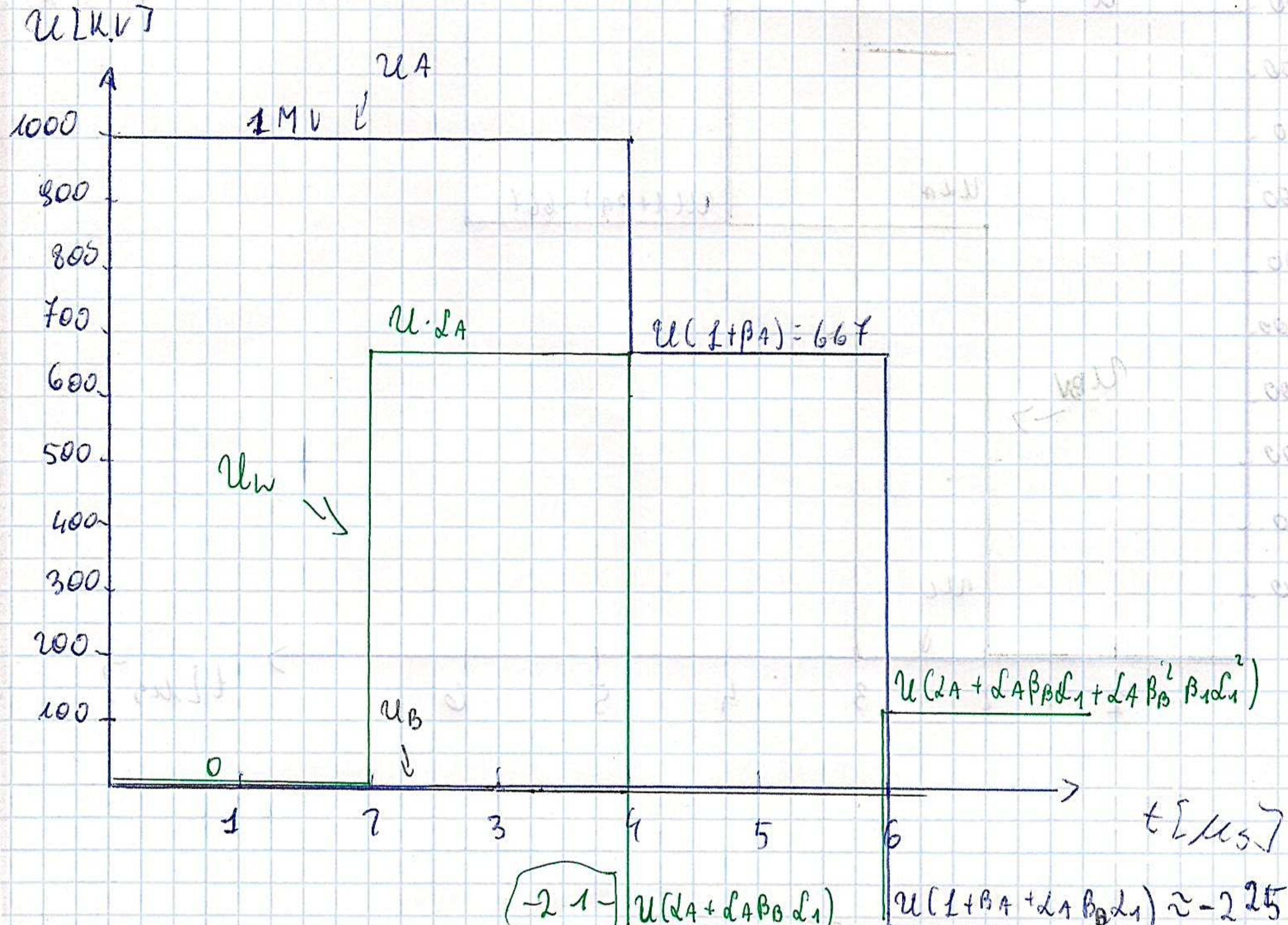
$$\alpha_A = \frac{2 Z_2}{Z_1 + Z_2} = 0,667 \qquad \alpha_B = \frac{2 \cdot Z_\infty}{Z_\infty + Z_2} = \frac{2}{1 + \frac{Z_2}{Z_\infty}} = 2 \qquad \alpha_1 = \frac{2 Z_1}{Z_1 + Z_2} = 1,337$$

$$\beta_A = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2} = -0,333 \qquad \beta_B = 1 \qquad \beta_1 = 0,337$$



Przebiegi napięć w poszczególnych pkt.

A) -> pkt B zwarty z ziemią:



B). Rozwarty Pkt. B.