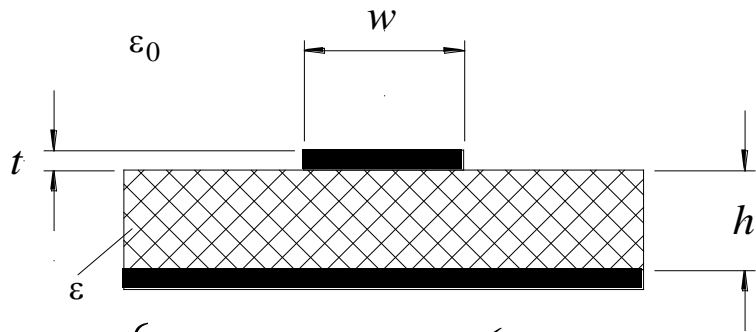


4.5

4.5. Микротракасти вод ширине траке $w = 247 \mu\text{m}$ направљен је на подлози дебљине $h = 254 \mu\text{m}$ и релативне пермитивности $\epsilon_r = 9,9$. Радна учестаност је $f = 10 \text{ GHz}$. Израчунати (а) карактеристичну импедансу микротракастог вода и (б) таласну дужину на воду.

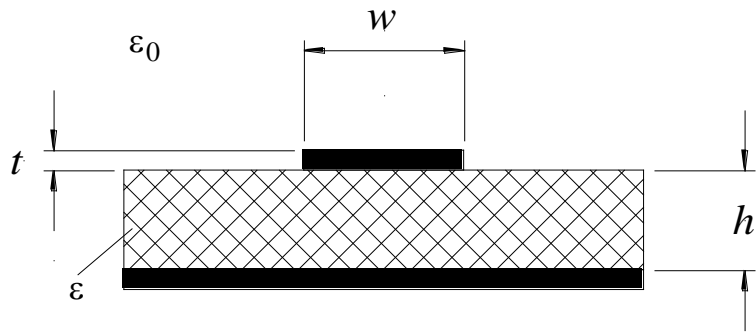


4.5

$$\varepsilon_{re} = \begin{cases} \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{h}{w}}} + 0,04 \left(1 - \frac{w}{h} \right)^2 \right), & \frac{w}{h} < 1 \\ \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2} \frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{h}{w}}}, & \frac{w}{h} \geq 1 \end{cases}$$

$$\lambda_{\varepsilon} = \frac{c_0 / f}{\sqrt{\varepsilon_{re}}}$$

$$Z_c = \begin{cases} \frac{60 \Omega}{\sqrt{\varepsilon_{re}}} \ln \left(\frac{8h}{w} + \frac{w}{4h} \right), & \frac{w}{h} < 1 \\ \frac{120 \pi \Omega}{\sqrt{\varepsilon_{re}} \left(\frac{w}{h} + 1,393 + 0,667 \ln \left(\frac{w}{h} + 1,444 \right) \right)}, & \frac{w}{h} \geq 1 \end{cases}$$



4.5

$$\frac{w}{h} = 0,97244 < 1$$

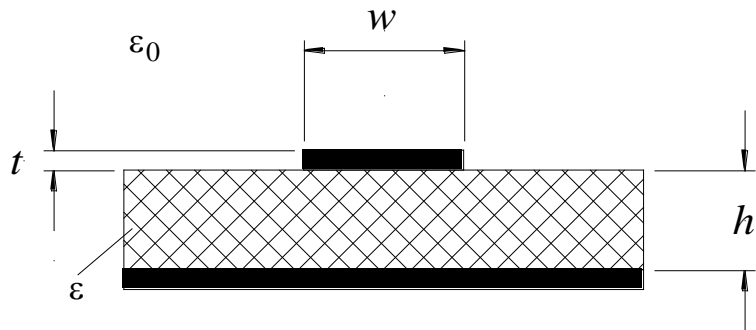
$$\epsilon_{re} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{h}{w}}} + 0,04 \left(1 - \frac{w}{h} \right)^2 \right) = 6,6685$$

$$\lambda_g = \frac{c_0 / f}{\sqrt{\epsilon_{re}}} = \boxed{11,62 \text{ mm}}$$

$$Z_c = \frac{60 \Omega}{\sqrt{\epsilon_{re}}} \ln \left(\frac{8h}{w} + \frac{w}{4h} \right) \approx \boxed{50 \Omega}$$

4.8

4.8. На супстрату FR-4, релативне пермитивности $\epsilon_r = 4,6$ и дебљине $h = 0,8 \text{ mm}$, потребно је направити микротракасти вод карактеристичне импедансе $Z_c = 50 \Omega$ и дужине $l = \lambda_g / 4$ на учестаности $f = 1 \text{ GHz}$, при чему је λ_g таласна дужина на воду. Израчунати ширину и дужину траке вода.



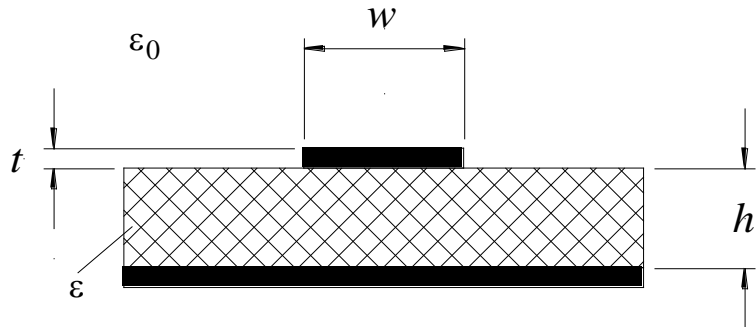
4.5

$$A = \frac{Z_c}{60\sqrt{2}\Omega} \sqrt{\epsilon_r + 1} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right)$$

$$B = \frac{60\pi^2 \Omega}{Z_c \sqrt{\epsilon_r}}$$

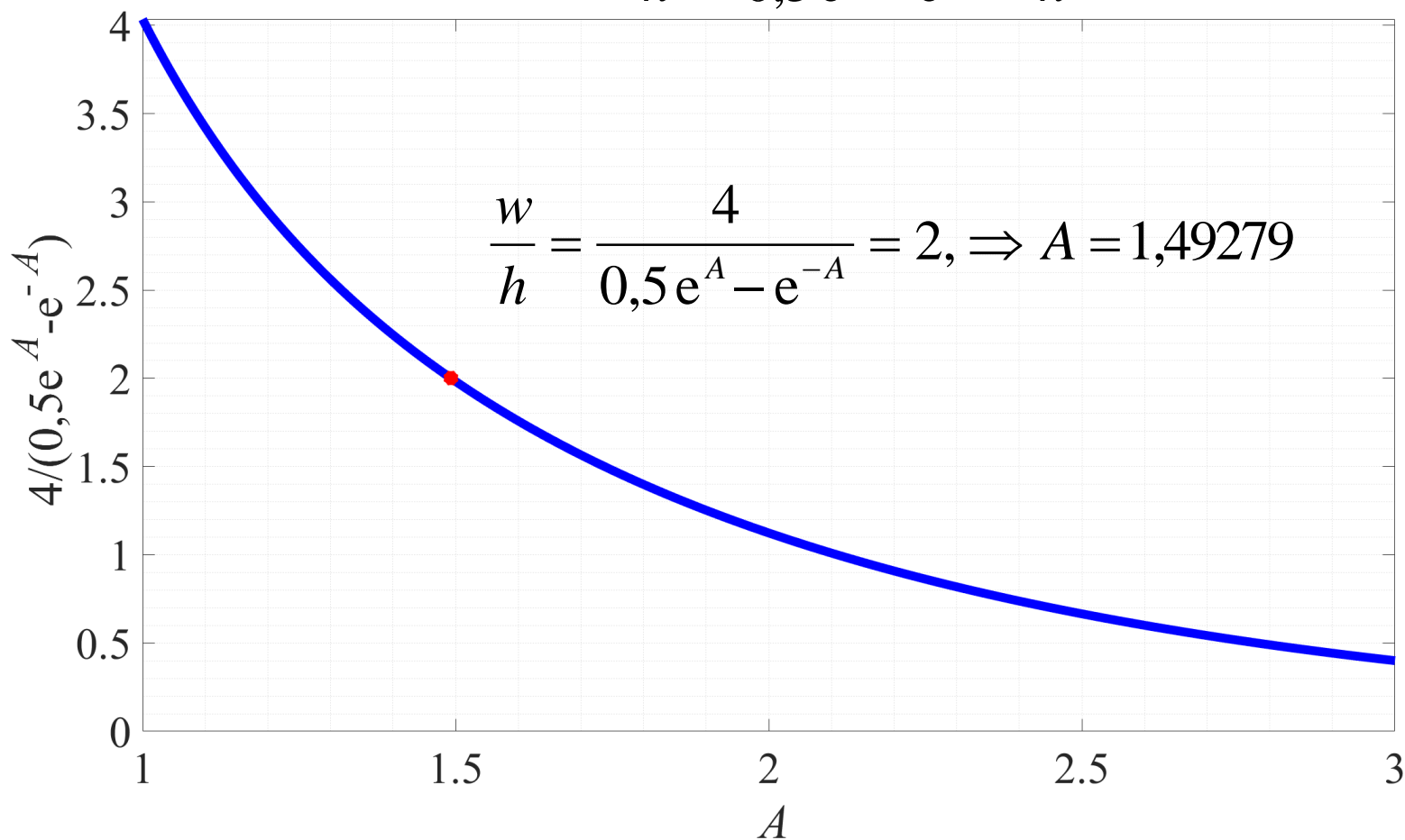
$$\frac{w}{h} = \begin{cases} \frac{4}{0,5e^A - e^{-A}}, \frac{w}{h} < 2 \\ \frac{\epsilon_r - 1}{\pi\epsilon_r} \left(\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right) + \frac{2}{\pi} (B - 1 - \ln(2B - 1)), \frac{w}{h} \geq 2 \end{cases}$$

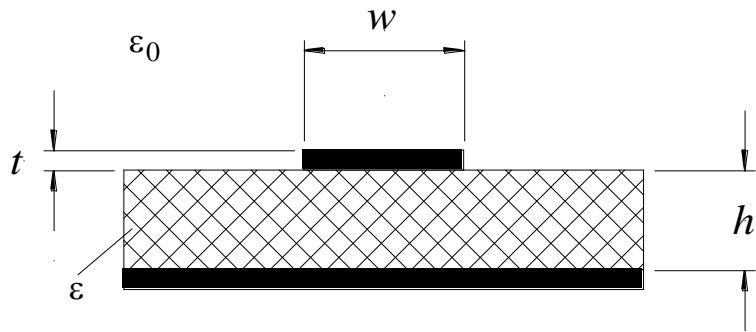
- Када је однос (w/h) познат, таласна дужина на воду одређује се формулама за анализу.



4.5

$$\frac{w}{h} = \frac{4}{0,5e^A - e^{-A}}, \frac{w}{h} < 2$$





4.5

$$A = \frac{Z_c}{60\sqrt{2}\Omega} \sqrt{\epsilon_r + 1} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right) = 1,5577 > 1,49279$$

$$\frac{w}{h} = \frac{4}{0,5e^A - e^{-A}} = 1,8491 < 2 \quad w = h \frac{w}{h} = 1,48 \text{ mm}$$

$$\frac{w}{h} > 1 \quad \epsilon_{re} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{h}{w}}} = 3,4577$$

$$\lambda_g = \frac{c_0/f}{\sqrt{\epsilon_{re}}} = 161,2226 \text{ mm}$$

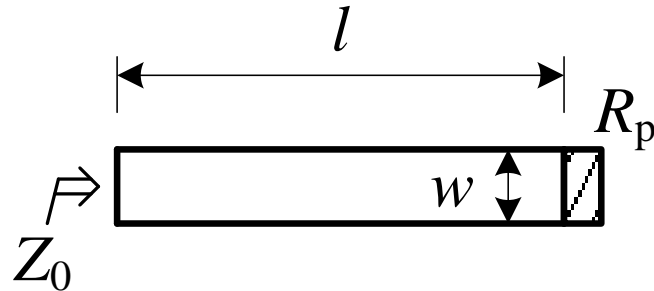
$$l = \frac{\lambda_g}{4} = 40,3 \text{ mm}$$

4.11

4.11. Потрошач отпорности $R_p = 150 \Omega$ потребно је прилагодити помоћу само једног микротракастог вода на номиналну импедансу $Z_0 = 50 \Omega$. (а) Нацртати електричну шему ове мреже за прилагођење. (б) Израчунати карактеристичну импедансу и (в) одредити дужину микротракастог вода ако је таласна дужина λ_g . (г) Ако је релативна пермитивност подлоге $\epsilon_r = 5,8$, дебљина подлоге $h = 0,254 \text{ mm}$ и радна учестаност $f = 1 \text{ GHz}$, израчунати ширину и минималну дужину вода.

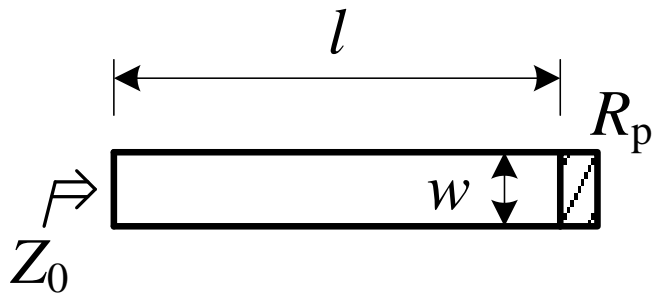
4.11

- Мрежа за прилагођење представља четвртталасни трансформатор импедансе приказан на слици.



$$Z_c = \sqrt{Z_0 R_p} = 50\sqrt{3} \Omega = 86,6 \Omega$$

$$l = \lambda_g / 4 + n \lambda_g / 2, n \in N_0$$



4.11

$$A = \frac{Z_c}{60\sqrt{2}\Omega} \sqrt{\epsilon_r + 1} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right) = 2,8372 > 1,49279$$

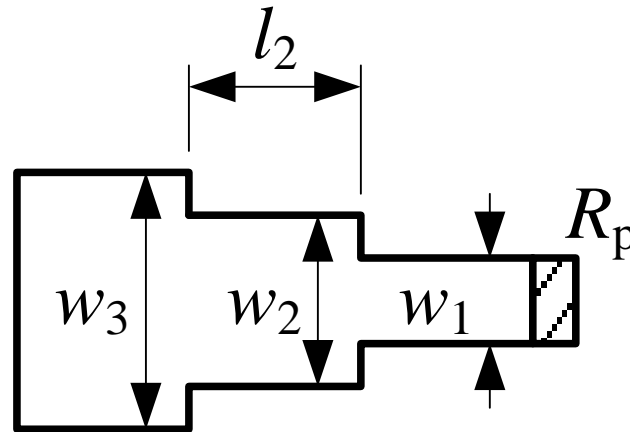
$$\frac{w}{h} = \frac{4}{0,5e^A - e^{-A}} = 0,472 < 2 \quad w = h \frac{w}{h} = \boxed{0,12 \text{ mm}}$$

$$\frac{w}{h} < 1 \quad \epsilon_{re} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{h}{w}}} + 0,04 \left(1 - \frac{w}{h} \right)^2 \right) = 3,8936$$

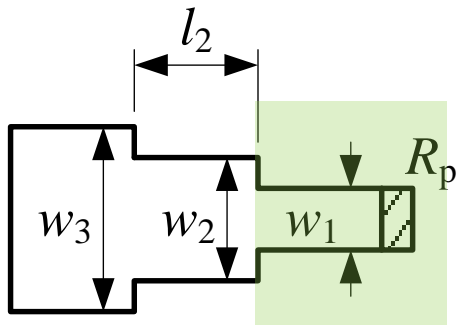
$$\lambda_g = \frac{c_0/f}{\sqrt{\epsilon_{re}}} = 151,93 \text{ mm} \quad l_{\min} = \frac{\lambda_g}{4} = \boxed{37,98 \text{ mm}}$$

4.16

4.16. На слици 4.16(a) је приказана микроталасна мрежа израђена у микротракастој техници која се састоји од три траке различитих ширина. Први вод има карактеристичну импедансу $Z_{c1} = 75 \Omega$, средишњи вод представља четвртталасни трансформатор импедансе, а трећи вод има карактеристичну импедансу $Z_{c3} = 50 \Omega$. Коефицијент рефлексије на трећем воду је $\rho = 0$ када је први вод завршен потрошачем $R_p = 75 \Omega$. Подлога је дебљине $h = 0,5 \text{ mm}$, а релативна пермитивност подлоге је $\epsilon_r = 4,2$. Губици су занемарљиво мали. Радна учестаност је $f = 3 \text{ GHz}$. Израчунати ширине све три траке, као и дужину другог вода. Занемарити паразитне ефекте на споју трака различитих ширина.



Слика 4.16(a).

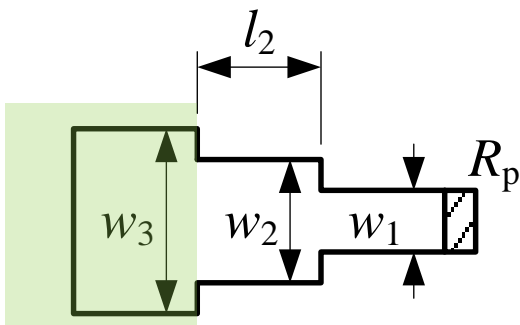


4.16

$$A_1 = \frac{Z_{c1}}{60\sqrt{2} \Omega} \sqrt{\epsilon_r + 1} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right) = 2,1732 > 1,49279$$

$$\frac{w_1}{h} = \frac{4}{0,5e^{A_1} - e^{-A_1}} = 0,9347 < 2$$

$$w_1 = h \frac{w_1}{h} = \boxed{0,47 \text{ mm}}$$

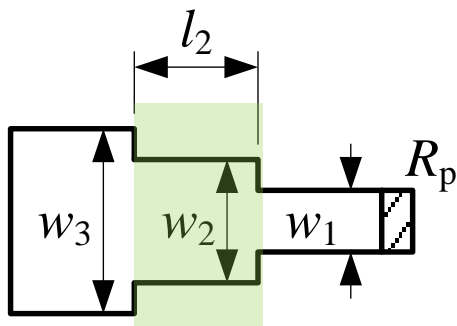


4.16

$$A_3 = \frac{Z_{c3}}{60\sqrt{2} \Omega} \sqrt{\epsilon_r + 1} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right) = 1,5014 > 1,49279$$

$$\frac{w_3}{h} = \frac{4}{0,5e^{A_3} - e^{-A_3}} = 1,9791 < 2$$

$$w_3 = h \frac{w_3}{h} = \boxed{0,99 \text{ mm}}$$



4.16

$$Z_{c2} = \sqrt{Z_{c3} Z_{c1}} = 25\sqrt{6} \Omega = 61,24 \Omega$$

$$A_2 = \frac{Z_{c2}}{60\sqrt{2} \Omega} \sqrt{\epsilon_r + 1} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right) = 1,8034 > 1,49279$$

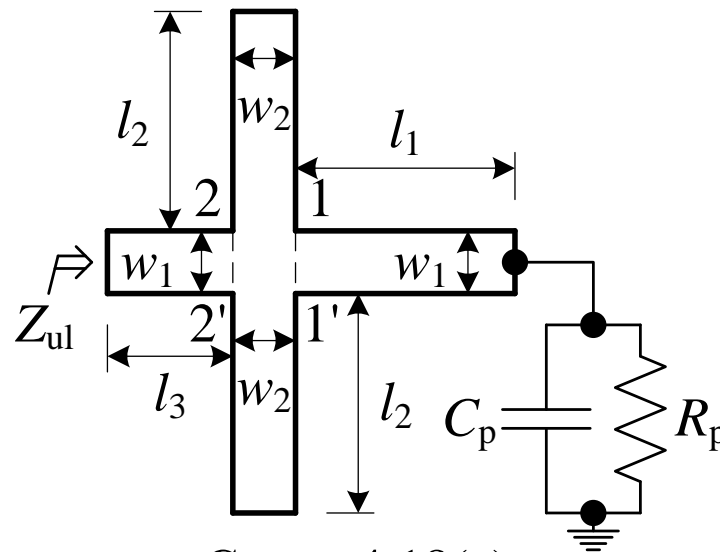
$$\frac{w_2}{h} = \frac{4}{0,5e^{A_2} - e^{-A_2}} = 1,3936 < 2 \quad w_2 = h \frac{w_2}{h} = \boxed{0,70 \text{ mm}}$$

$$\frac{w_2}{h} > 1 \quad \epsilon_{re2} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{h}{w_2}}} = 3,1161$$

$$\lambda_{g2} = \frac{c_0/f}{\sqrt{\epsilon_{re2}}} = 56,61 \text{ mm} \quad l_2 = \frac{\lambda_{g2}}{4} = \boxed{14,15 \text{ mm}}$$

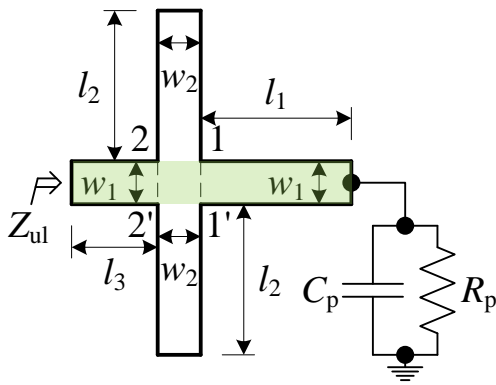
4.18

4.18. Микроталасна мрежа састоји се од отпорника отпорности $R_p = 100 \Omega$, кондензатора капацитивности $C_p = 1 \text{ pF}$, два микротракаста одсечка ширине $w_1 = 0,578 \text{ mm}$ и дужина $l_1 = 10 \text{ mm}$, односно $l_3 = 4 \text{ mm}$, и два микротракаста огранка ширине $w_2 = 0,267 \text{ mm}$ и дужине $l_2 = 10 \text{ mm}$ отворена на својим крајевима, као што је приказано на слици 4.18(a). Мрежа је реализована на супстрату дебљине $h = 0,3 \text{ mm}$ и релативне пермитивности $\epsilon_r = 4,4$. Одредити улазну импедансу (Z_{ul}) на учестаности $f = 1 \text{ GHz}$.



Слика 4.18(a).

4.18



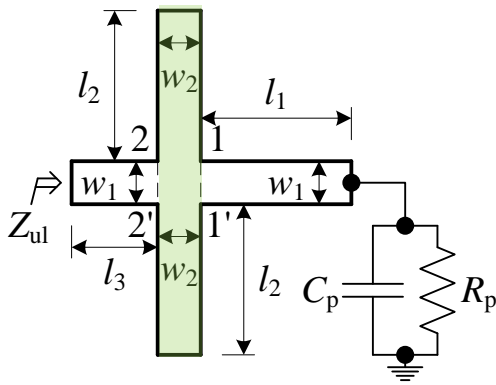
$$\frac{w_1}{h} = 1,9267 > 1$$

$$\epsilon_{\text{re}1} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{h}{w_1}}} = 3,3323$$

$$\lambda_{g1} = \lambda_{g3} = \frac{c_0 / f}{\sqrt{\epsilon_{\text{re}1}}} = 164,2 \text{ mm}$$

$$Z_{c1} = Z_{c3} = \frac{120 \pi \Omega}{\sqrt{\epsilon_{\text{re}}}} \frac{1}{\frac{w}{h} + 1,393 + 0,667 \ln \left(\frac{w}{h} + 1,444 \right)} = 50 \Omega$$

4.18



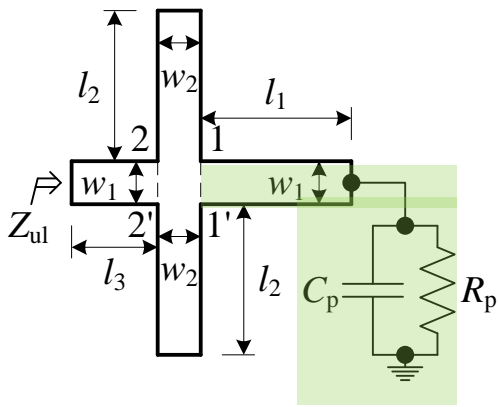
$$\frac{w_2}{h} = 0,89 < 1$$

$$\epsilon_{re2} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{h}{w_2}}} + 0,04 \left(1 - \frac{w_2}{h} \right)^2 \right) = 3,1475$$

$$\lambda_{g2} = \frac{c_0 / f}{\sqrt{\epsilon_{re2}}} = 169 \text{ mm}$$

$$Z_{c2} = \frac{60 \Omega}{\sqrt{\epsilon_{re2}}} \ln \left(\frac{8h}{w_2} + \frac{w_2}{4h} \right) = 75 \Omega$$

4.18



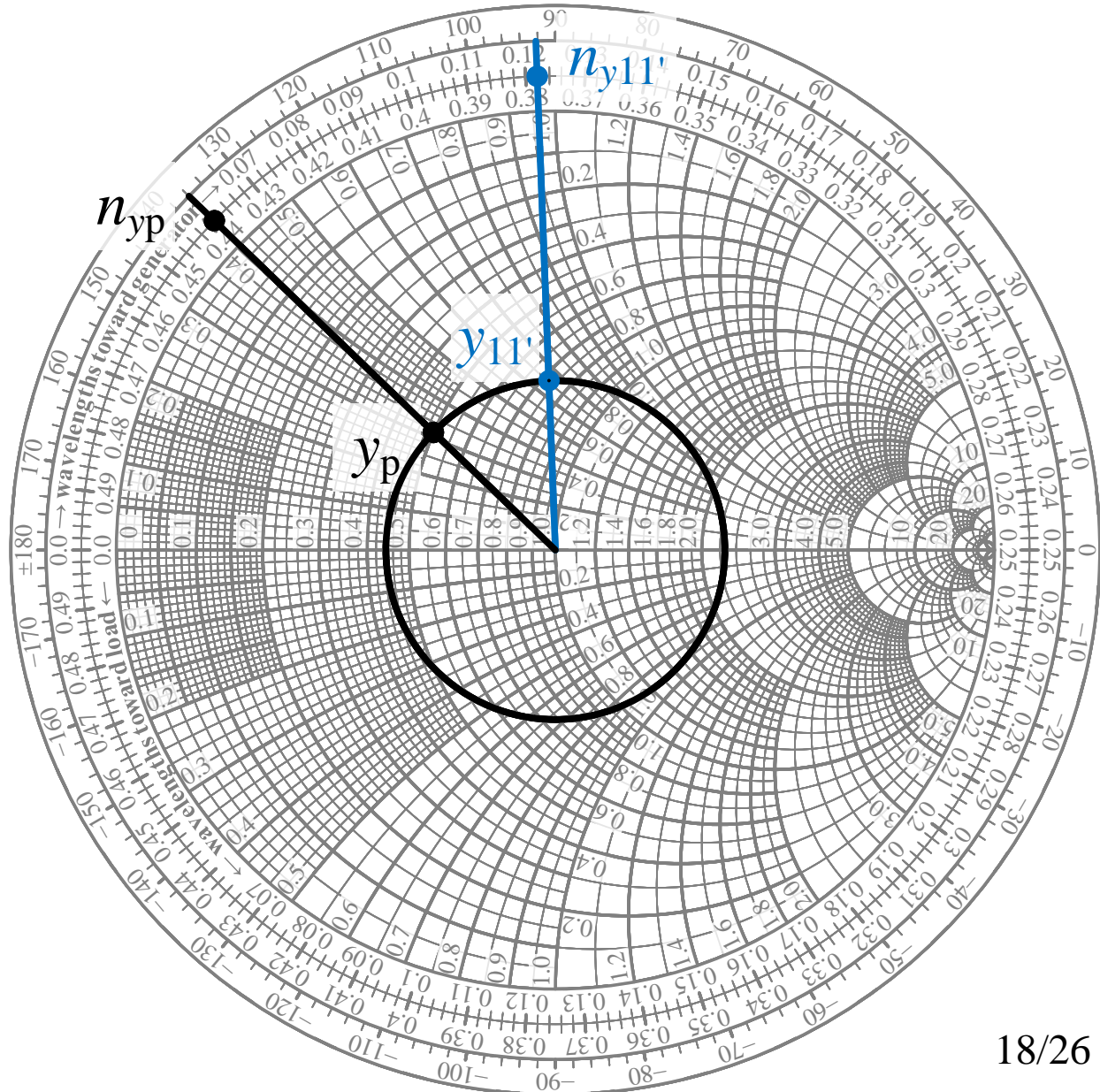
$$y_{-p} = Z_{c1} \left(\frac{1}{R_p} + j\omega C_p \right)$$

$$y_{-p} = 0,5 + j0,314$$

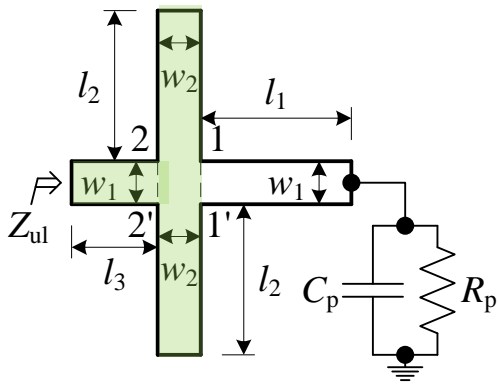
$$n_{yp} = 0,0611$$

$$n_{y11'} = n_{yp} + l_1 / \lambda_{g1} = 0,122$$

$$y_{-11'} = 0,722 + j0,655$$



4.18



$$\underline{Y}_2 = j \tan(2\pi l_2 / \lambda_{g2}) / Z_{c2} = j5,2 \text{ mS}$$

$$\underline{y}_{22'} = \underline{y}_{11'} + 2Z_{c1} \underline{Y}_2$$

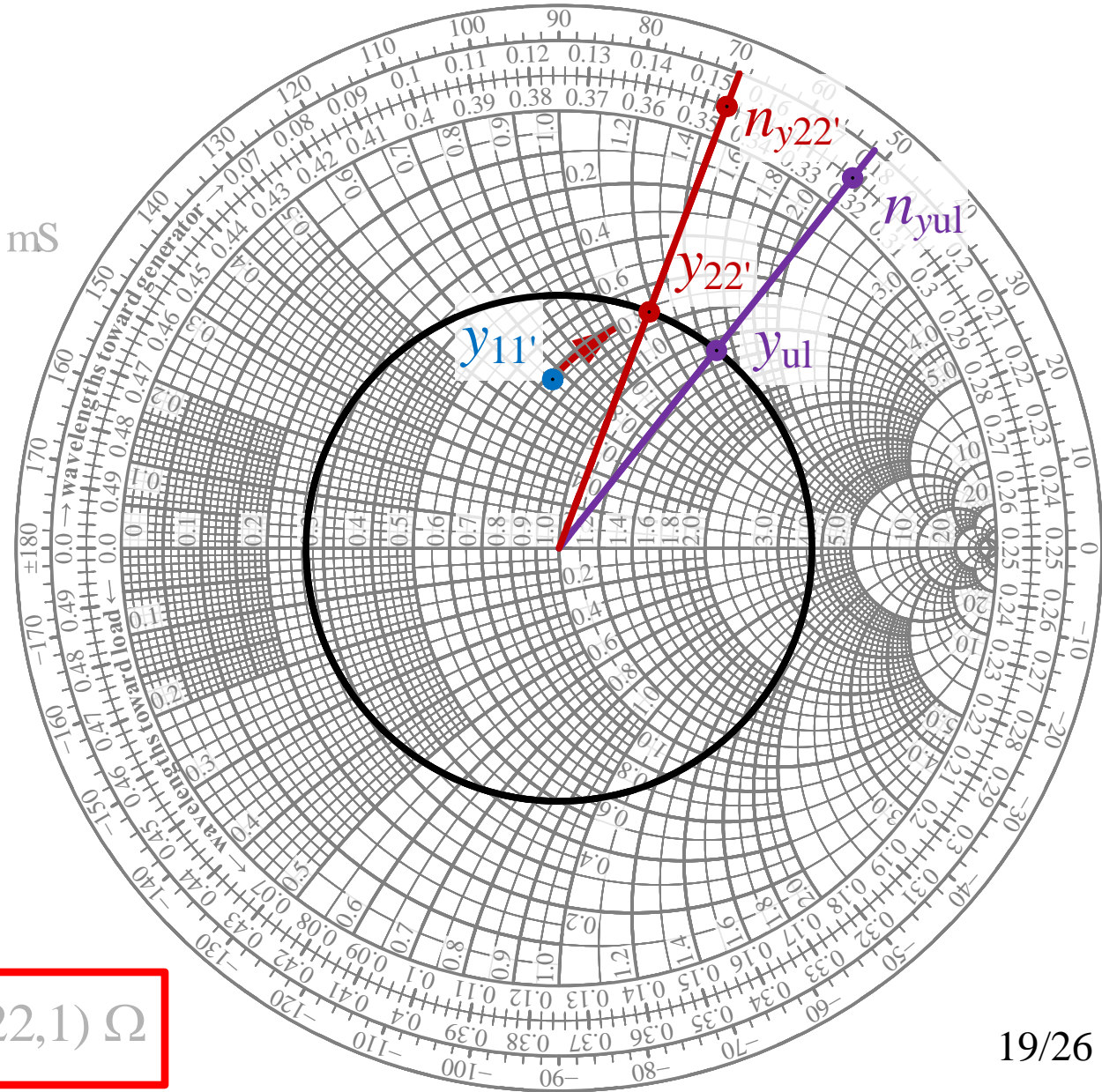
$$\underline{y}_{22'} = 0,722 + j1,17$$

$$n_{y22'} = 0,154$$

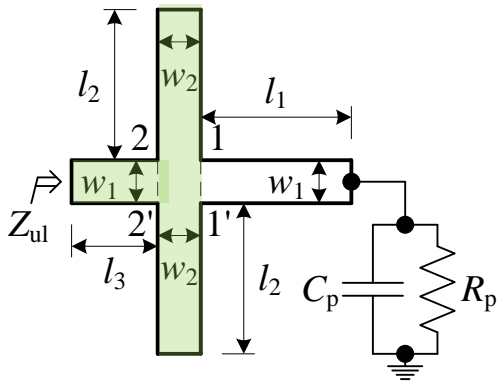
$$n_{yul} = n_{y22'} + l_3 / \lambda_{g3} = 0,178$$

$$\underline{y}_{ul} = 1,08 + j1,47$$

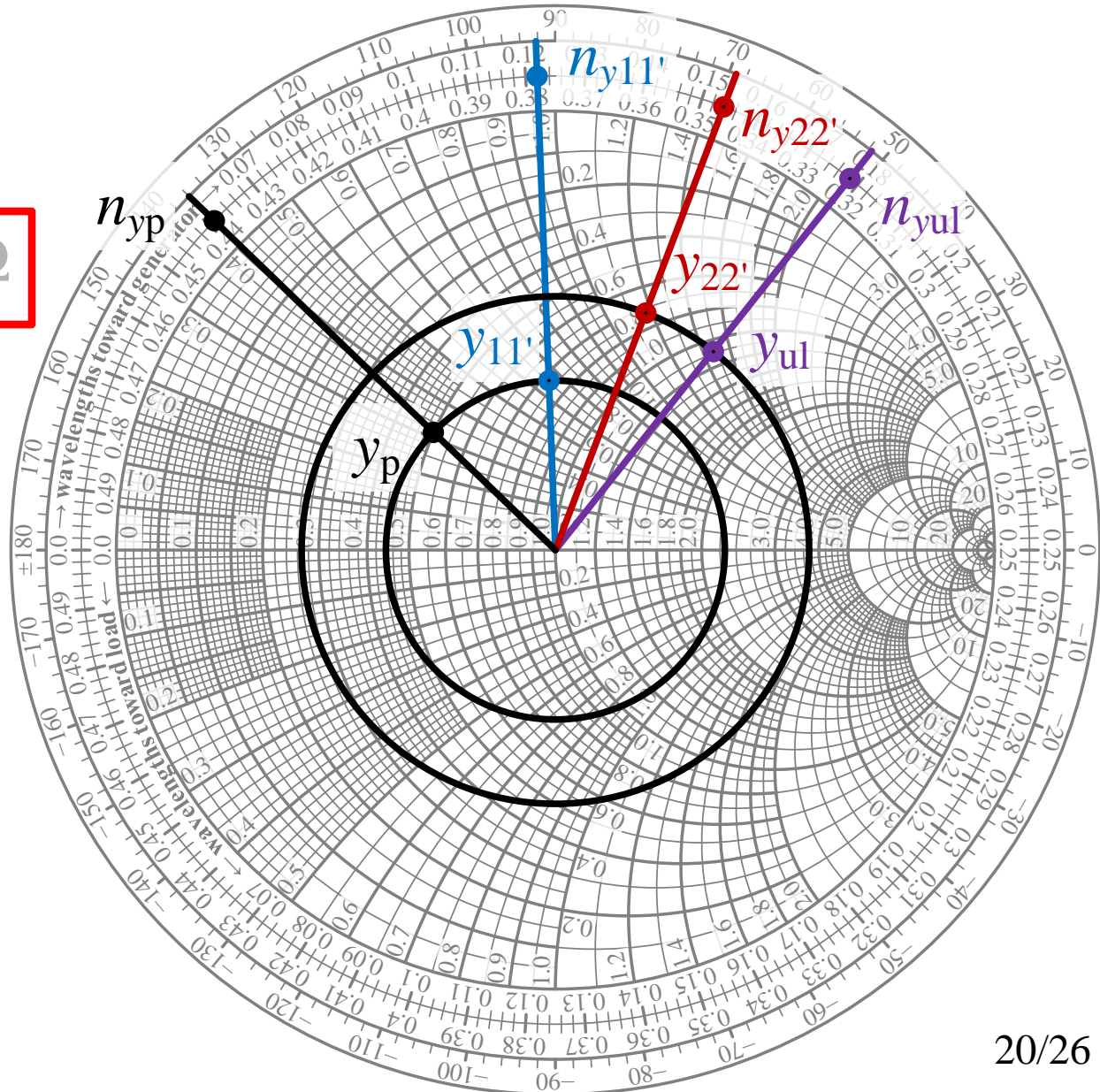
$$\underline{Z}_{ul} = Z_{c1} / \underline{y}_{ul} = (16,2 - j22,1) \Omega$$



4.18

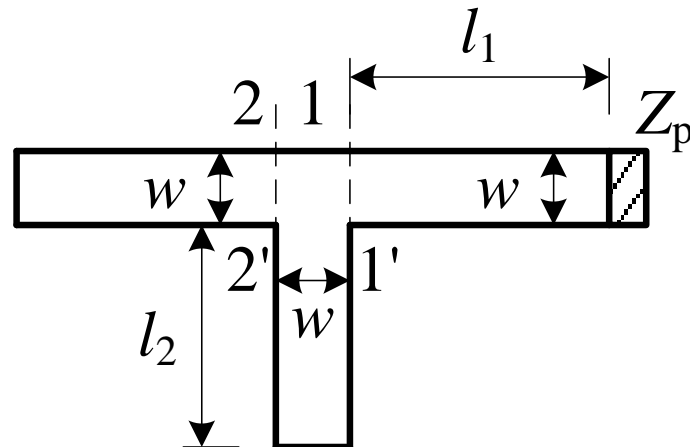


$$\underline{Z}_{ul} = (16, 2 - j22, 1) \Omega$$

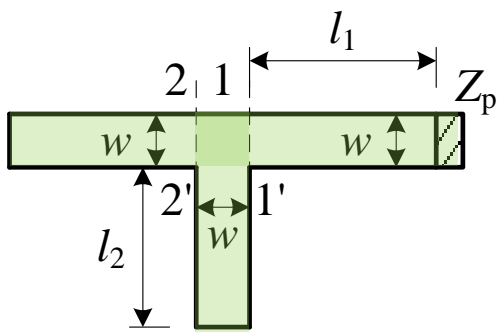


4.25

4.25. Пројектовати мрежу за прилагођење антене чија је улазна импеданса $Z_p = (75 + j40) \Omega$ на номиналну импедансу $Z_0 = 50 \Omega$, при учестаности $f = 1,575 \text{ GHz}$. Мрежа за прилагођење има један огранак, као на слици 4.25(a). Карактеристична импеданса вода и огранка је $Z_c = 50 \Omega$. Мрежа треба да буде реализовано у микротракастој техници, на подлози чија је дебљина $h = 0,254 \text{ mm}$, а релативна пермитивност $\epsilon_r = 2,33$.



Слика 4.25(a).



4.25

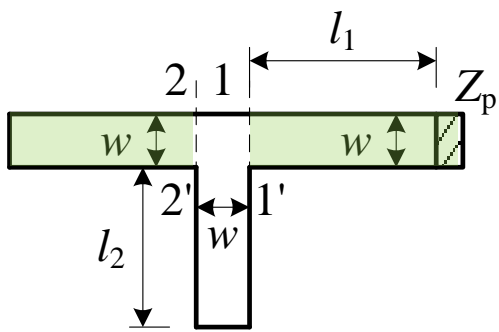
$$A = \frac{Z_c}{60\sqrt{2}\Omega} \sqrt{\epsilon_r + 1} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right) = 1,186 < 1,49279 \quad B = \frac{60\pi^2 \Omega}{Z_c \sqrt{\epsilon_r}} = 7,759$$

$$\frac{w}{h} = \frac{\epsilon_r - 1}{\pi \epsilon_r} \left(\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right) + \frac{2}{\pi} (B - 1 - \ln(2B - 1)) = 2,9702 > 2$$

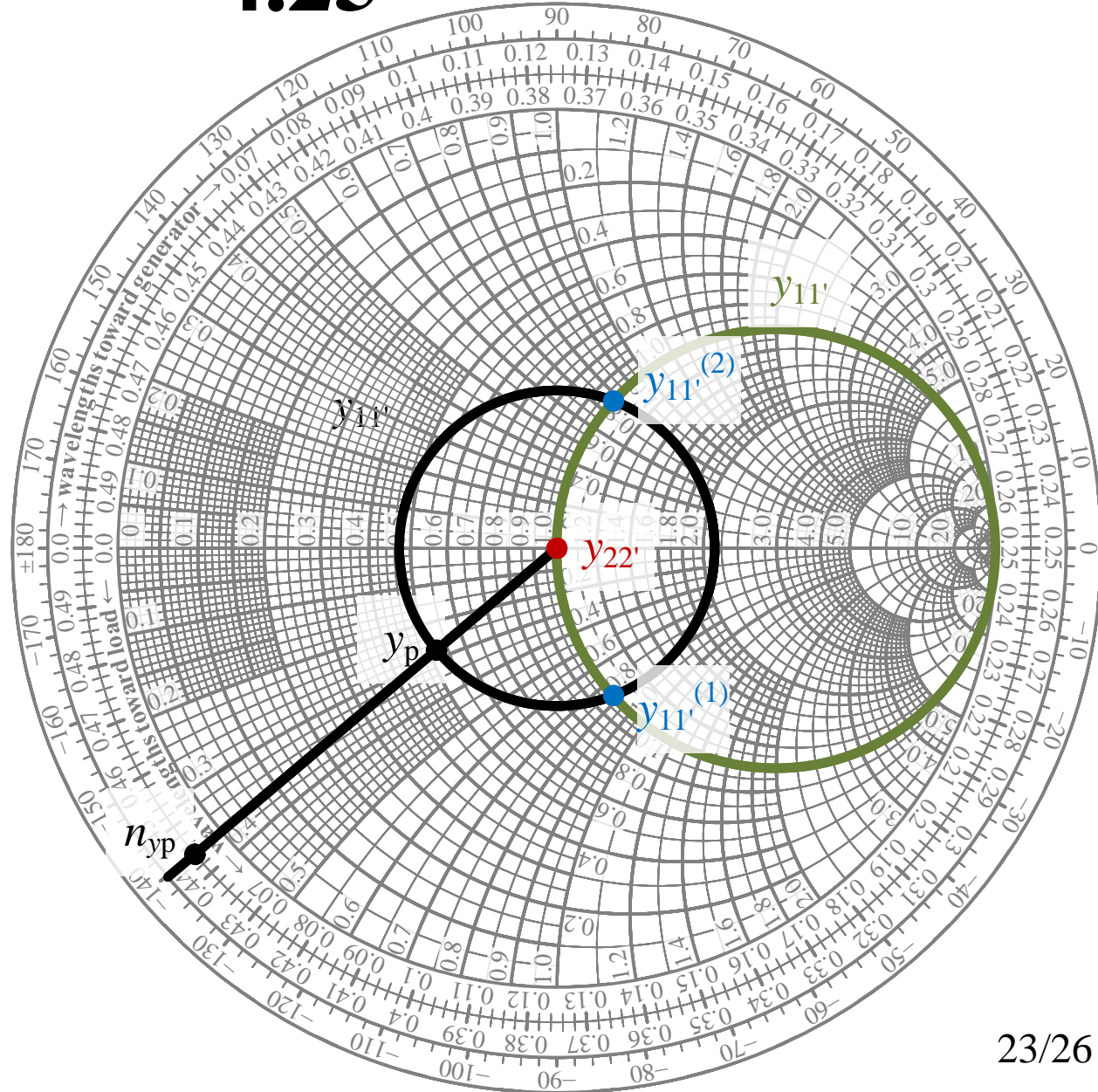
$$w = h \frac{w}{h} = 0,75 \text{ mm}$$

$$\frac{w}{h} > 1 \quad \epsilon_{re} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{h}{w}}} = 1,96$$

$$\lambda_g = \frac{c_0/f}{\sqrt{\epsilon_{re}}} = 135,46 \text{ mm}$$



4.25



$$\underline{z}_p = \underline{Z}_p / Z_0 = 1,5 + j0,8$$

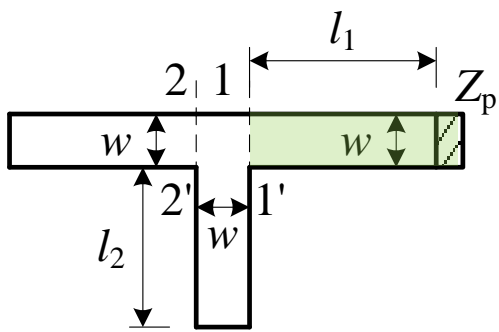
$$\underline{y}_{-p} = 1 / \underline{z}_p = 0,52 - j0,277$$

$$n_{yp} = 0,444$$

$$\underline{y}_{-22'} = 1$$

$$\underline{y}_{-22'} = \underline{y}_{-11'} + j b_{og} = 1$$

$$g_{11'} = 1$$



4.25

$$y_{-11'}^{(1)} = 1 - j0,77 \quad y_{-11'}^{(2)} = 1 + j0,77$$

$$n_{y11'}^{(1)} = 0,346 \quad n_{y11'}^{(2)} = 0,154$$

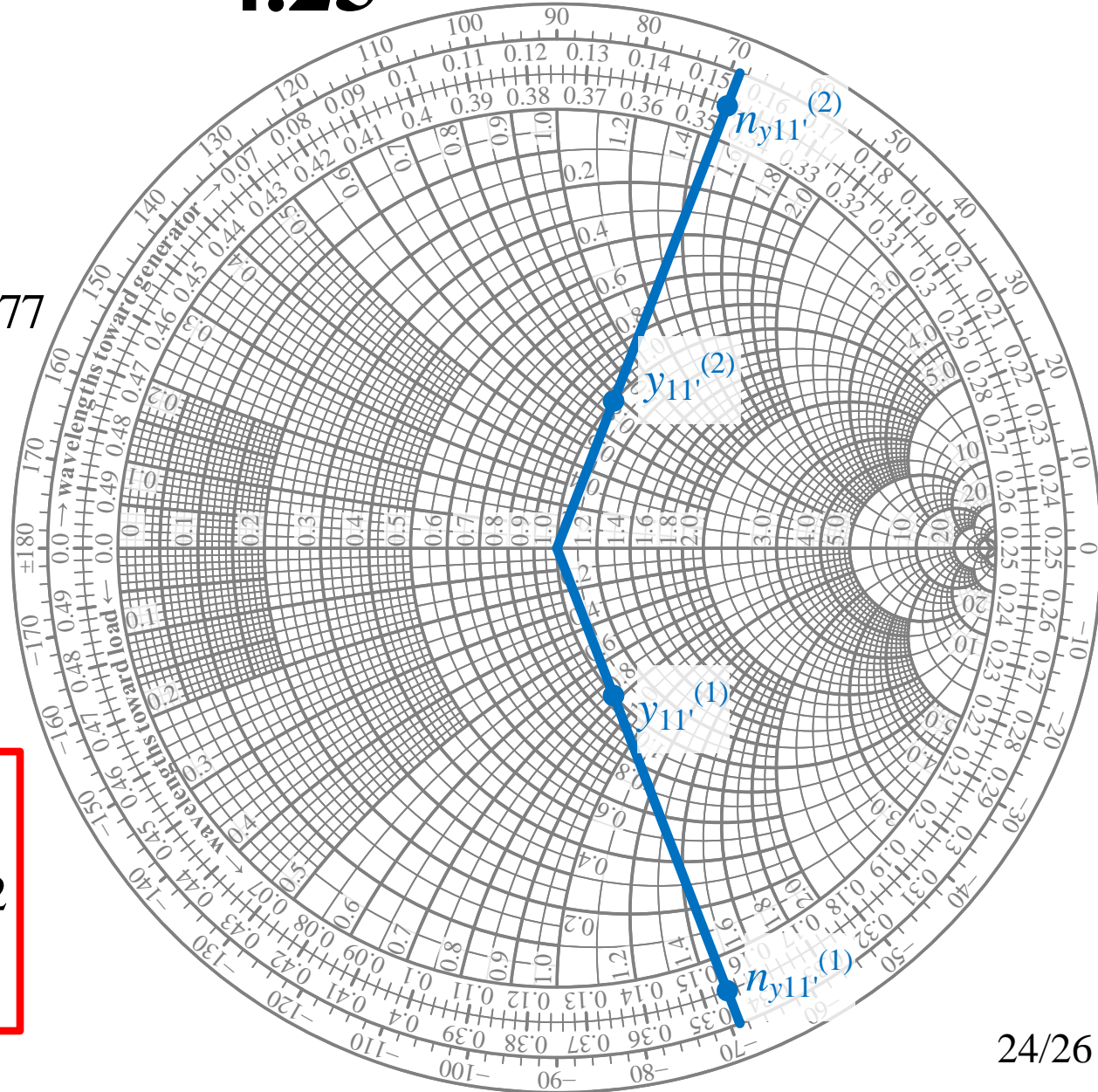
$$l_1^{(1)} = (n_{y11'}^{(1)} - n_{yp})\lambda_g + m\lambda_g/2$$

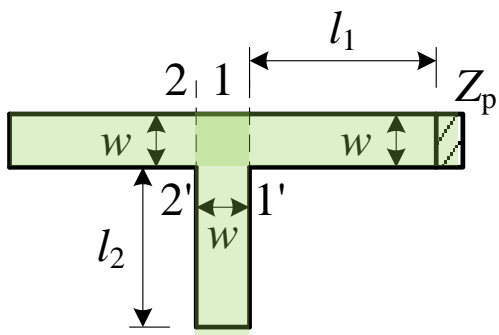
$$l_1^{(2)} = (n_{y11'}^{(2)} - n_{yp})\lambda_g + m\lambda_g/2$$

$$l_1^{(1)} = 54,45 \text{ mm} + m\lambda_g/2$$

$$l_1^{(2)} = 28,45 \text{ mm} + m\lambda_g/2$$

$$m \in N_0$$





4.25

$$\underline{y}_{-11'} + \underline{y}_{-og} = \underline{y}_{-11'} + j b_{og} = 1$$

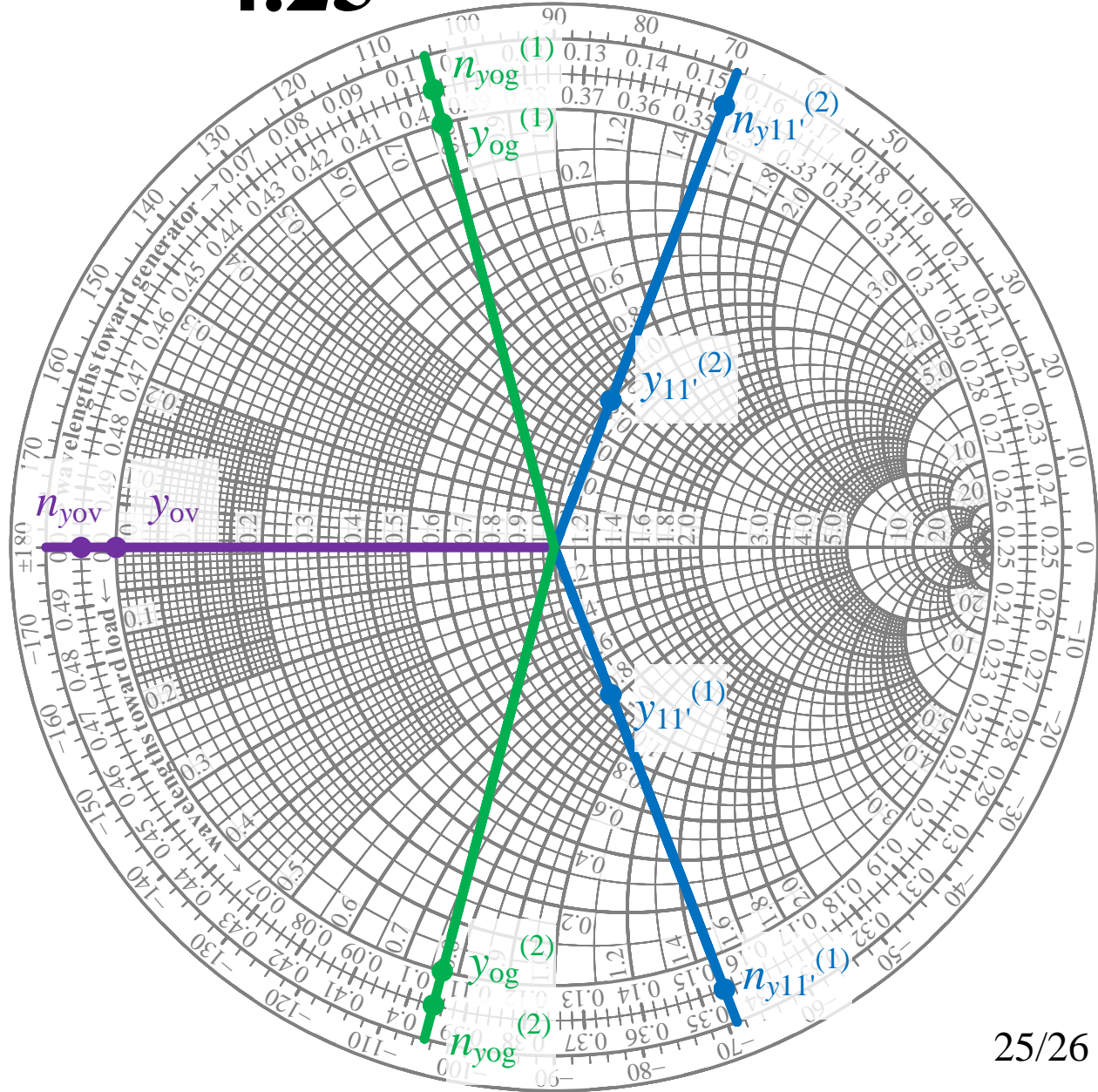
$$\underline{y}_{-og}^{(1)} = -j b_{11'}^{(1)} = j 0,77$$

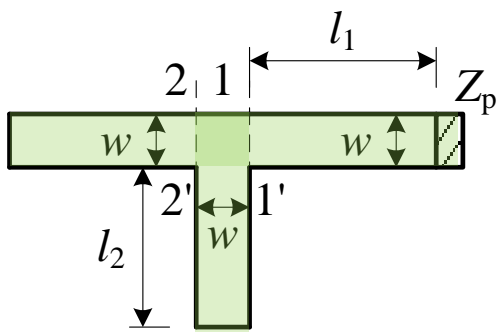
$$\underline{y}_{-og}^{(2)} = -j b_{11'}^{(2)} = -j 0,77$$

$$n_{yog}^{(1)} = 0,104 \quad n_{yog}^{(2)} = 0,396$$

$$\underline{y}_{-ov} = 0$$

$$n_{yov} = 0$$





4.25

$$n_{yog}^{(1)} = 0,104 \quad n_{yog}^{(2)} = 0,396$$

$$n_{yov} = 0$$

$$l_2^{(1)} = (n_{yog}^{(1)} - n_{yov})\lambda_g + n\lambda_g/2$$

$$l_2^{(2)} = (n_{yog}^{(2)} - n_{yov})\lambda_g + n\lambda_g/2$$

$$l_2^{(1)} = 14,09 \text{ mm} + n\lambda_g/2$$

$$l_2^{(2)} = 53,64 \text{ mm} + n\lambda_g/2$$

$$n \in N_0$$

