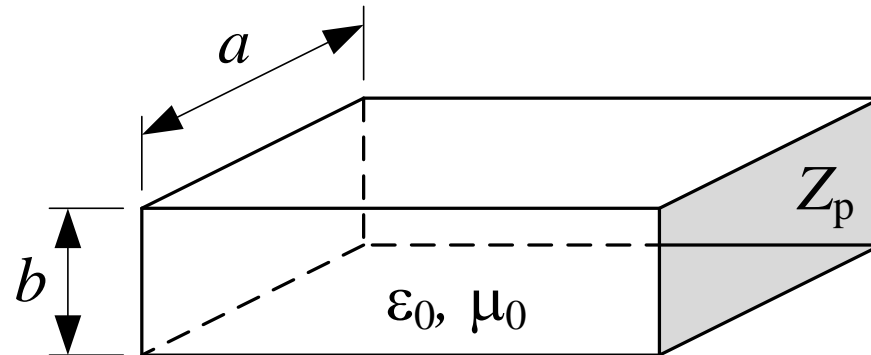
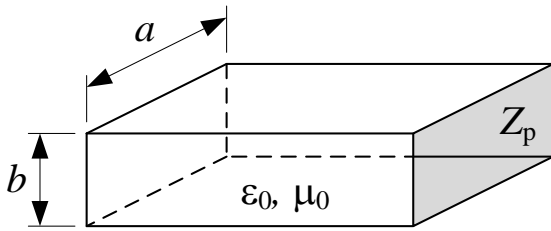


5.17

5.17. На слици 5.17 је приказан правоугаони таласовод ширине a и висине $b = a/2$, испуњен ваздухом. У таласоводу се простире доминантни талас на учестаности $f = 8 \text{ GHz}$, а таласна импеданса у таласоводу је $Z_T = 500 \Omega$. На једном крају таласовода везан је потрошач непознате комплексне импедансе Z_p , а на другом генератор. Мерењем је утврђено да је комплексни коефицијент рефлексije у равни потрошача $\rho_{-p} = \frac{\sqrt{2}}{2} e^{j\frac{\pi}{4}}$. Израчунати (а) димензије попречног пресека таласовода, (б) непознату комплексну импедансу потрошача и (в) одстојање потрошача од другог минимума и одстојање потрошача од трећег максимума електричног поља стојећег таласа.



Слика 5.17.



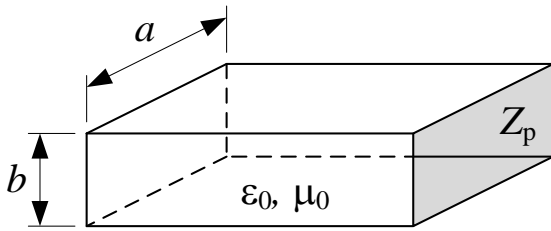
5.17

$$Z_{\text{TE}_{10}} = \frac{Z_0}{\sqrt{1 - (f_{c\text{TE}_{10}}/f)^2}}$$

$$Z_0 = \sqrt{\mu_0/\epsilon_0} \approx 120 \pi \Omega \quad f_{c\text{TE}_{10}} = \frac{c_0}{2a} = f \sqrt{1 - (Z_0/Z_{\text{TE}_{10}})^2}$$

$$a = \frac{c_0}{2f \sqrt{1 - (Z_0/Z_{\text{TE}_{10}})^2}} \approx 28,5 \text{ mm}$$

$$b = a/2 \approx 14,25 \text{ mm}$$



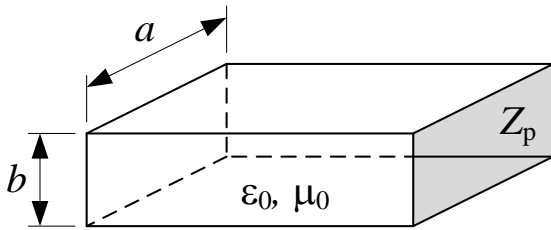
5.17

$$\underline{\rho}_{-p} = \frac{\underline{Z}_p - Z_{\text{TE10}}}{\underline{Z}_p + Z_{\text{TE10}}} \quad \underline{Z}_p = Z_{\text{TE10}} \frac{1 + \underline{\rho}_{-p}}{1 - \underline{\rho}_{-p}} = \boxed{500 (1 + j2) \Omega}$$

$$\lambda_{g\text{TE10}} = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 - (f_{c\text{TE10}}/f)^2}} \approx 49,7 \text{ mm}$$

$$\arg(\underline{\rho}_{-p}) = \frac{\pi}{4} \quad \underline{\rho} = \underline{\rho}_{-p} e^{2j\beta z} = \underline{\rho}_{-p} e^{-2j2\pi \frac{l}{\lambda_{g\text{TE10}}}}$$

$$\arg(\underline{\rho}) = \arg(\underline{\rho}_{-p}) - 4\pi \frac{l}{\lambda_{g\text{TE10}}} = \frac{\pi}{4} - 4\pi \frac{l}{\lambda_{g\text{TE10}}}$$



5.17

$$\arg(\underline{\rho}) = \frac{\pi}{4} - 4\pi \frac{l}{\lambda_{gTE10}}$$

$$\arg(\underline{\rho}) = \pi \pm 2k\pi, k \in Z \Rightarrow \text{МИНИМУМ}$$

Први минимум:

$$\arg(\underline{\rho}) = -\pi$$

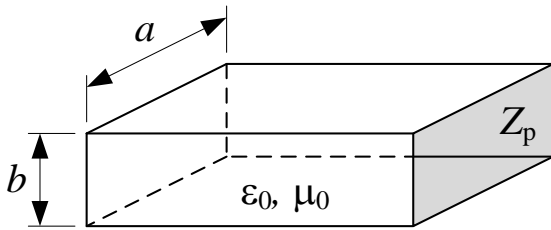
Други минимум:

$$\arg(\underline{\rho}) = -3\pi$$

$$-3\pi = \frac{\pi}{4} - 4\pi \frac{l_{\min}^{(2)}}{\lambda_{gTE10}}$$

$$l_{\min}^{(2)} = \frac{13}{16} \lambda_{gTE10}$$

$$l_{\min}^{(2)} \approx 40,4 \text{ mm}$$



5.17

$$\arg(\underline{\rho}) = \frac{\pi}{4} - 4\pi \frac{l}{\lambda_{g\text{TE}10}}$$

$$\arg(\underline{\rho}) = \pm 2k\pi, k \in Z \Rightarrow \text{максимум}$$

Први максимум: $\arg(\underline{\rho}) = 0$

Други максимум: $\arg(\underline{\rho}) = -2\pi$

Трећи максимум: $\arg(\underline{\rho}) = -4\pi$

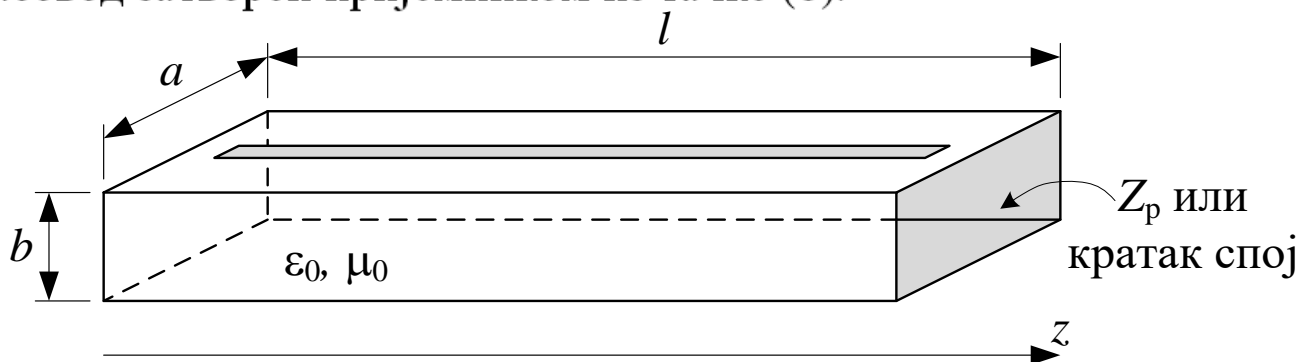
$$-4\pi = \frac{\pi}{4} - 4\pi \frac{l_{\max}^{(3)}}{\lambda_{g\text{TE}10}}$$

$$l_{\max}^{(3)} = \frac{17}{16} \lambda_{g\text{TE}10}$$

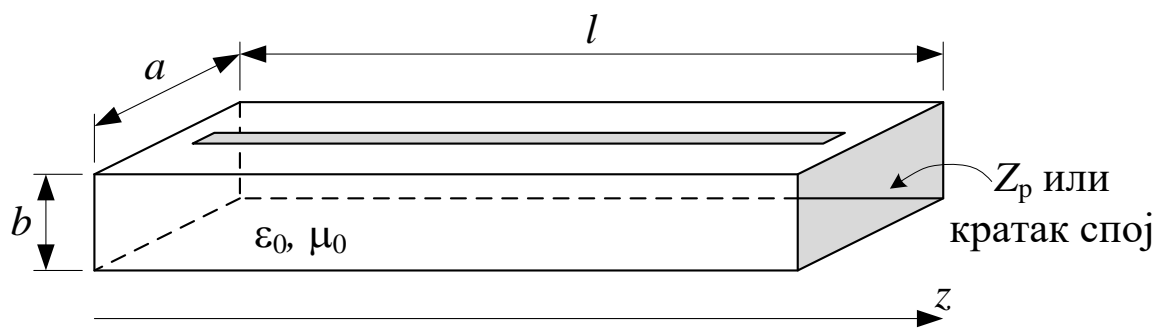
$$l_{\max}^{(3)} \approx 52,8 \text{ mm}$$

5.18

5.18. Мерни таласовод, правоугаоног попречног пресека, испуњен је ваздухом, као на слици 5.18(a). У таласоводу је побуђен доминантни талас и снимљене су две криве ефективне вредности електричног поља стојећег таласа: једна за кратко спојени таласовод, а друга када је таласовод затворен пријемником непознате импедансе. За кратко спојени таласовод два суседна максимума електричног поља стојећег таласа налазе се на $z_{ks \max}^{(1)} = -10 \text{ mm}$ и $z_{ks \max}^{(2)} = -23,41 \text{ mm}$ на скали z која расте од генератора, а нула скале је померена у односу на пресек у ком се везује пријемник. За таласовод затворен пријемником измерено је да се један од минимума електричног поља стојећег таласа налази на $z_{p \min} = -19,66 \text{ mm}$ на истој скали, као и да је коефицијент стојећег таласа $\sigma = 3,2$. Учестаност генератора је $f = 15 \text{ GHz}$. Израчунати (a) димензије попречног пресека таласовода ако се зна да је однос ширине и висине таласовода $a/b = 2$, (б) комплексну импедансу пријемника, (в) дужину таласовода $l = 7\lambda_g/4$ (λ_g је таласна дужина у таласоводу) и (г) улазну импедансу таласовода дужине l када је таласовод затворен пријемником из тачке (б).



Слика 5.18(a).



5.18

$$\lambda_g / 2 = z_{\text{ks max}}^{(1)} - z_{\text{ks max}}^{(2)} \quad \lambda_g = 2 \left(z_{\text{ks max}}^{(1)} - z_{\text{ks max}}^{(2)} \right) = 26,8 \text{ mm}$$

$$\lambda_g = \lambda_{g\text{TE}10} = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 - (f_{c\text{TE}10} / f)^2}}$$

$$1 - (f_{c\text{TE}10} / f)^2 = (\lambda_0 / \lambda_g)^2$$

$$f_{c\text{TE}10} / f = \sqrt{1 - (\lambda_0 / \lambda_g)^2}$$

$$f_{c\text{TE}10} = f \sqrt{1 - (\lambda_0 / \lambda_g)^2}$$

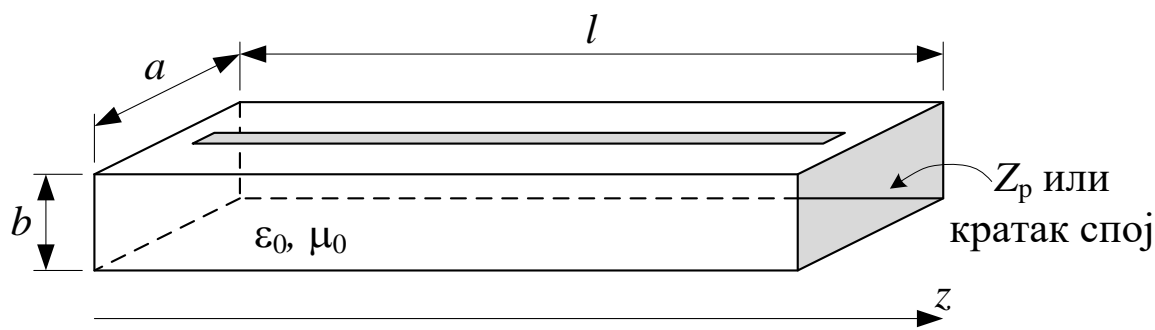
$$\lambda_0 = c_0 / f = 20 \text{ mm}$$

$$f_{c\text{TE}10} = f \sqrt{1 - (\lambda_0 / \lambda_g)^2} = 10 \text{ GHz}$$

$$f_{c\text{TE}10} = \frac{c_0}{2a}$$

$$a = \frac{c_0}{2f_{c\text{TE}10}} = 15 \text{ mm}$$

$$b = a / 2 \approx 7,5 \text{ mm}$$



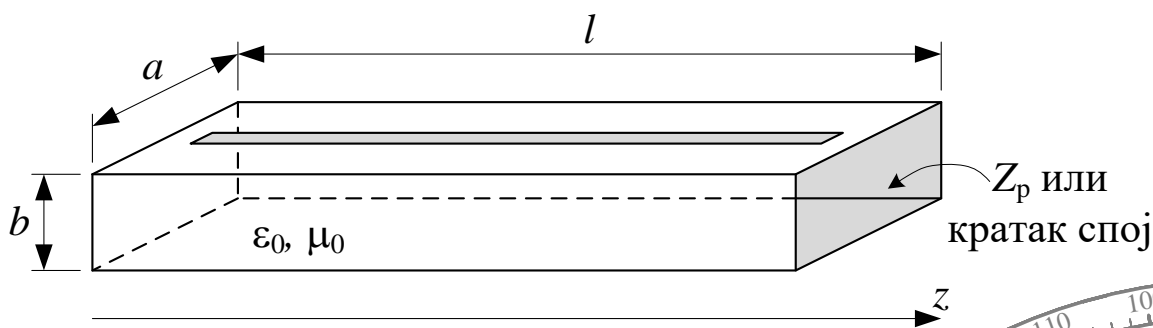
5.18

$$Z_{\text{TE}_{10}} = \frac{Z_0}{\sqrt{1 - (f_{\text{cTE}_{10}}/f)^2}}$$

$$Z_0 = \sqrt{\mu_0/\epsilon_0} \approx 120 \pi \Omega$$

$$Z_{\text{TE}_{10}} = \frac{Z_0}{\sqrt{1 - (f_{\text{cTE}_{10}}/f)^2}} = 505,8 \Omega$$

$$z_{\text{ks min}}^{(1)} = z_{\text{ks max}}^{(1)} - \lambda_g/4 = -16,7 \text{ mm}$$



5.18

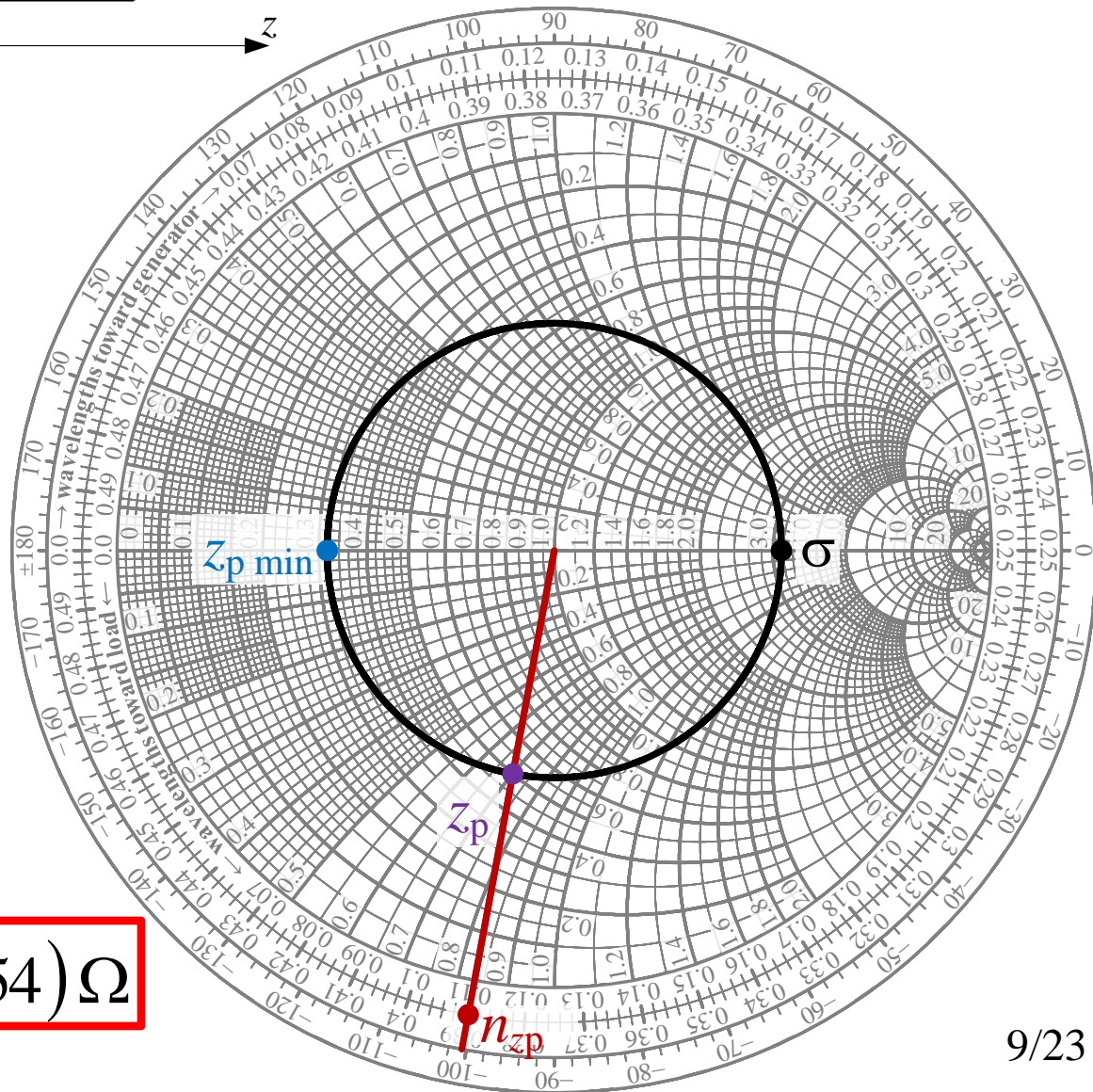
$$\sigma = 3,2$$

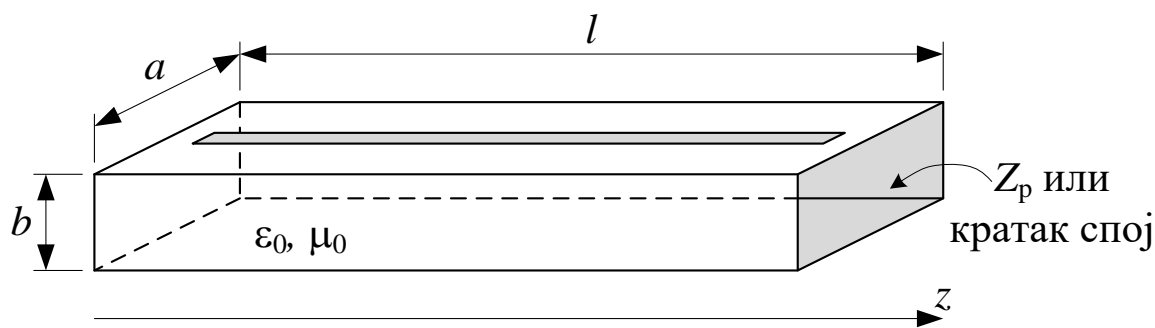
$$n_{z_{pmin}} = 0$$

$$n_{z_p} = \frac{z_{ks min}^{(1)} - z_{p min}}{\lambda_g} = 0,11$$

$$\underline{z}_p = 0,5 - j0,7$$

$$\underline{Z}_p = \underline{z}_p Z_{TE10} = \boxed{(253 - j354) \Omega}$$





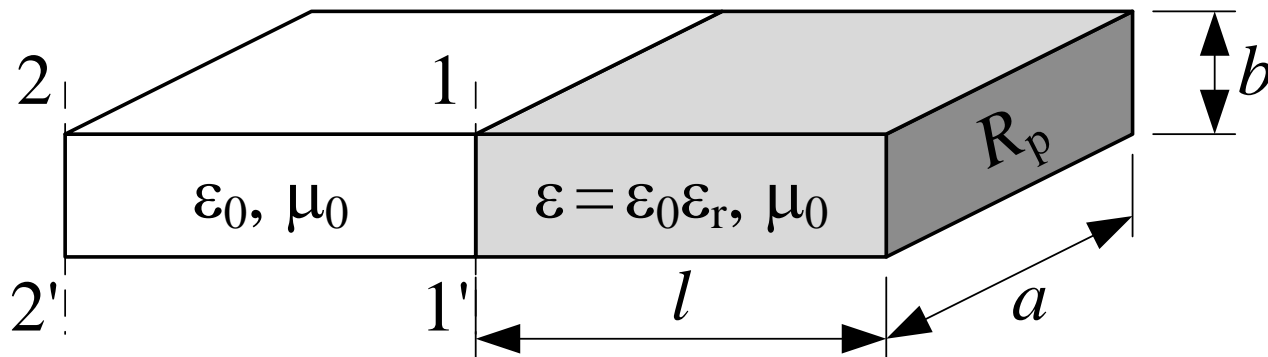
5.18

$$l = 7\lambda_g / 4 = 46,9 \text{ mm}$$

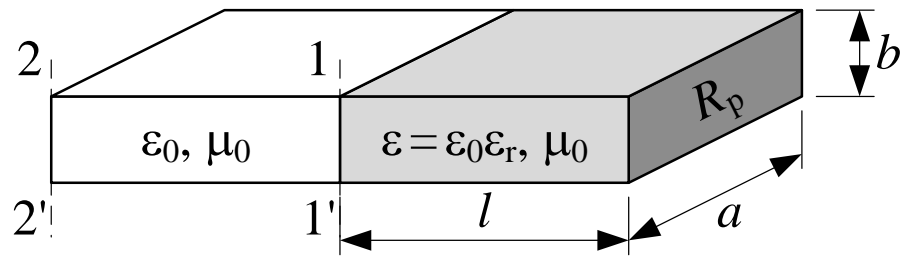
$$\underline{Z}_{ul} = Z_{\text{TE}10}^2 / \underline{Z}_p = (342 + j478) \Omega$$

5.23

5.23. У правоугаоном таласоводу приказаном на слици 5.23, испуњеном ваздухом, димензија попречног пресека $a = 19,05 \text{ mm}$ и $b = 9,525 \text{ mm}$, простире се доминантни талас на учестаности $f = 10 \text{ GHz}$. На крају таласовода прикључен је чисто резистиван пријемник резистансе R_p . Пријемник је потребно прилагодити на таласовод помоћу четвртталасног трансформатора (дужине l) који је направљен тако што је део таласовода до пријемника испуњен хомогеним савршеним диелектриком релативне пермитивности ϵ_r и пермеабилности μ_0 , као на слици 5.23. Одредити (а) у ком опсегу би требало да налази ϵ_r тако да се и у делу таласовода са диелектриком простире само доминантни талас на задатој учестаности и (б) у ком опсегу мора да се налази R_p да би оваквом реализацијом могло да се оствари прилагођење. (в) За $R_p = 350 \Omega$ израчунати ϵ_r и l уколико је могуће остварити прилагођење.



Слика 5.23.



5.23

$$f_{\text{cTE}10}^{(\varepsilon_0)} = c_0 / (2a) \approx 7,87 \text{ GHz}$$

$$f_{\text{cTE}20}^{(\varepsilon_0)} = 2f_{\text{cTE}10}^{(\varepsilon_0)} \approx 15,74 \text{ GHz}$$

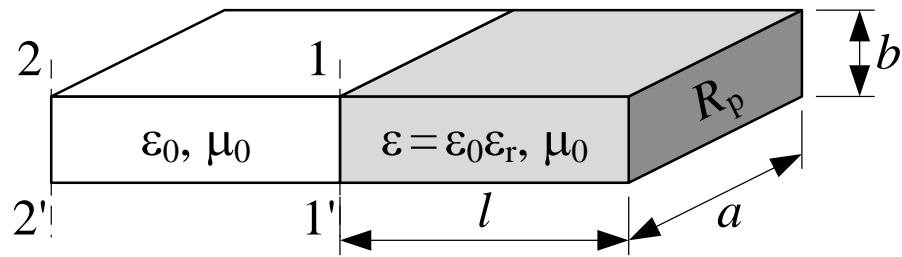
$$f_{\text{cTE}10}^{(\varepsilon_0)} < f < f_{\text{cTE}20}^{(\varepsilon_0)}$$

$$\varepsilon_{\text{r min}} = 1$$

$$f_{\text{cTE}10}^{(\varepsilon_{\text{r}})} = c_0 / (2a\sqrt{\varepsilon_{\text{r}}}) < f_{\text{cTE}10}^{(\varepsilon_0)} \quad f_{\text{cTE}20}^{(\varepsilon_{\text{r}})} = 2f_{\text{cTE}10}^{(\varepsilon_{\text{r}})} = c_0 / (a\sqrt{\varepsilon_{\text{r}}})$$

$$f_{\text{cTE}10}^{(\varepsilon_{\text{r}})} < f < f_{\text{cTE}20}^{(\varepsilon_{\text{r}})}$$

$$f < c_0 / (a\sqrt{\varepsilon_{\text{r}}})$$



5.23

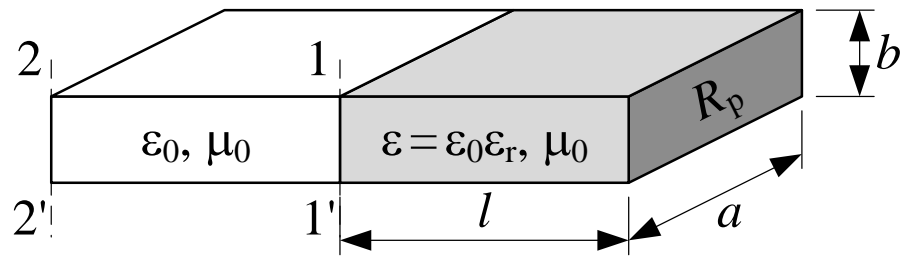
$$f < c_0 / (a\sqrt{\epsilon_r})$$

$$a\sqrt{\epsilon_r} < c_0 / f$$

$$\epsilon_r < \left(\frac{c_0}{af} \right)^2$$

$$\epsilon_r < 2,48$$

$$1 < \epsilon_r < 2,48$$



5.23

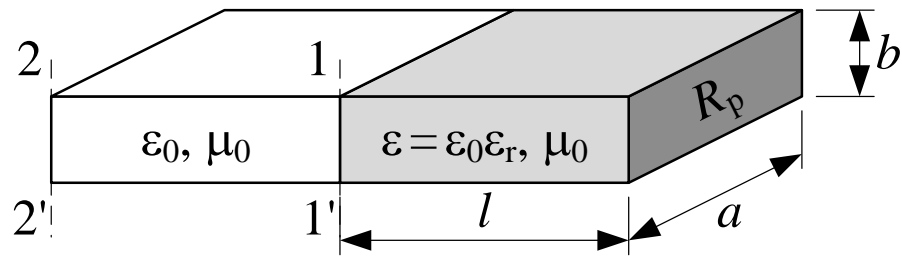
$$Z_{\text{TE}10}^{(\varepsilon 0)} = \frac{Z_0}{\sqrt{1 - \left(f_{c\text{TE}10}^{(\varepsilon 0)} / f\right)^2}}$$

$$Z_0 = \sqrt{\mu_0 / \varepsilon_0} = 120\pi \Omega$$

$$Z_{\text{TE}10}^{(\varepsilon 0)} = 611 \Omega$$

$$R_p Z_{\text{TE}10}^{(\varepsilon 0)} = Z_{\text{TE}10}^{(\varepsilon r)^2}$$

$$\frac{Z_{\text{TE}10\text{min}}^{(\varepsilon r)^2}}{Z_{\text{TE}10}^{(\varepsilon 0)}} < R_p < \frac{Z_{\text{TE}10\text{max}}^{(\varepsilon r)^2}}{Z_{\text{TE}10}^{(\varepsilon 0)}}$$



5.23

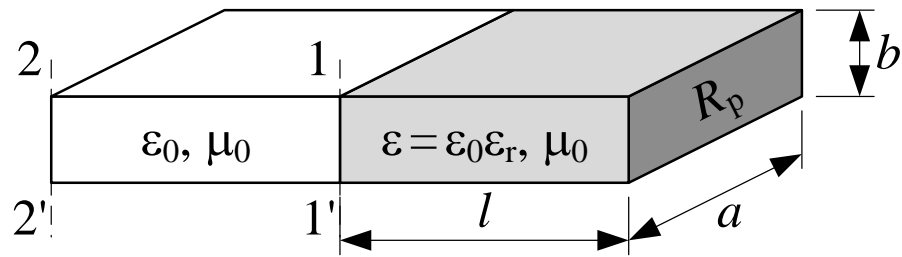
$$\frac{Z_{\text{TE10min}}^{(\epsilon r)}}{Z_{\text{TE10}}^{(\epsilon 0)}} < R_p < \frac{Z_{\text{TE10max}}^{(\epsilon r)}}{Z_{\text{TE10}}^{(\epsilon 0)}}$$

$$Z_{\text{TE10}}^{(\epsilon r)} = \frac{Z_0 / \sqrt{\epsilon_r}}{\sqrt{1 - (f_{c\text{TE10}}^{(\epsilon r)} / f)^2}} = \frac{Z_0 / \sqrt{\epsilon_r}}{\sqrt{1 - (f_{c\text{TE10}}^{(\epsilon 0)} / (\sqrt{\epsilon_r} f))^2}}$$

$$Z_{\text{TE10min}}^{(\epsilon r)} = \frac{Z_0 / \sqrt{\epsilon_{r \max}}}{\sqrt{1 - (f_{c\text{TE10}}^{(\epsilon 0)} / (\sqrt{\epsilon_{r \max}} f))^2}} = 276,4 \Omega$$

$$Z_{\text{TE10max}}^{(\epsilon r)} = \frac{Z_0 / \sqrt{\epsilon_{r \min}}}{\sqrt{1 - (f_{c\text{TE10}}^{(\epsilon 0)} / (\sqrt{\epsilon_{r \min}} f))^2}} = Z_{\text{TE10}}^{(\epsilon 0)} = 611 \Omega$$

$$125,1 \Omega < R_p < 611 \Omega$$



5.23

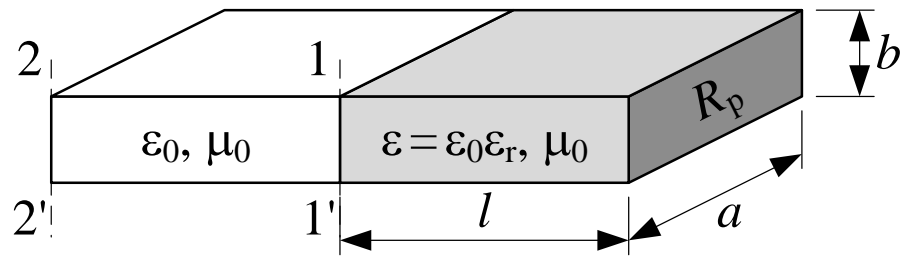
$$R_p = 350 \, \Omega \quad 125,1 \, \Omega < R_p < 611 \, \Omega$$

$$Z_{\text{TE}10}^{(\epsilon_r)} = \sqrt{R_p Z_{\text{TE}10}^{(\epsilon_0)}} = 462 \, \Omega$$

$$Z_{\text{TE}10}^{(\epsilon_r)} = \frac{Z_0 / \sqrt{\epsilon_r}}{\sqrt{1 - \left(f_{c\text{TE}10}^{(\epsilon_0)} / (\sqrt{\epsilon_r} f) \right)^2}} \quad Z_{\text{TE}10}^{(\epsilon_r)2} = \frac{Z_0^2}{\epsilon_r \left(1 - \left(f_{c\text{TE}10}^{(\epsilon_0)} / (\sqrt{\epsilon_r} f) \right)^2 \right)}$$

$$\epsilon_r - \left(\frac{f_{c\text{TE}10}^{(\epsilon_0)}}{f} \right)^2 = \left(\frac{Z_0}{Z_{\text{TE}10}^{(\epsilon_r)}} \right)^2$$

$$\epsilon_r = \left(\frac{Z_0}{Z_{\text{TE}10}^{(\epsilon_r)}} \right)^2 + \left(\frac{f_{c\text{TE}10}^{(\epsilon_0)}}{f} \right)^2 = 1,29$$



5.23

$$\lambda_{\text{gTE10}}^{(\epsilon_r)} = \frac{c_0 / (f \sqrt{\epsilon_r})}{\sqrt{1 - \left(\frac{f_{\text{cTE10}}^{(\epsilon_r)}}{f} \right)^2}}$$

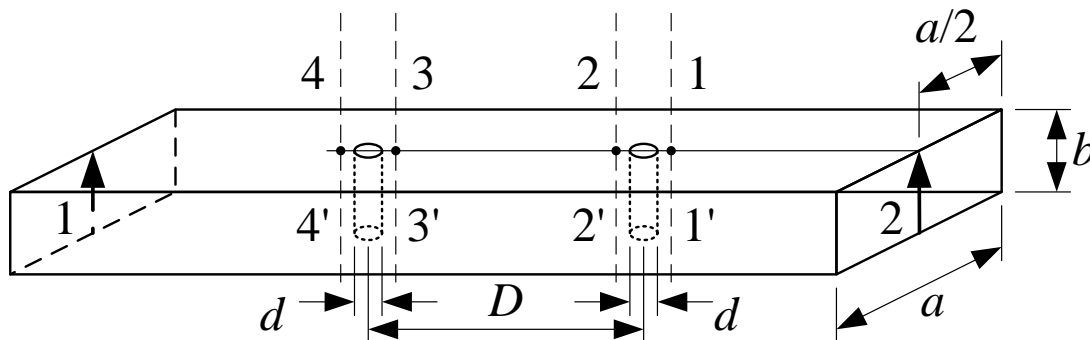
$$\lambda_{\text{gTE10}}^{(\epsilon_r)} = \frac{c_0 / (f \sqrt{\epsilon_r})}{\sqrt{1 - \left(\frac{c_0}{2a \sqrt{\epsilon_r} f} \right)^2}}$$

$$\lambda_{\text{gTE10}}^{(\epsilon_r)} = 36,7 \text{ mm}$$

$$l = \lambda_{\text{gTE10}}^{(\epsilon_r)} / 4 = 9,18 \text{ mm}$$

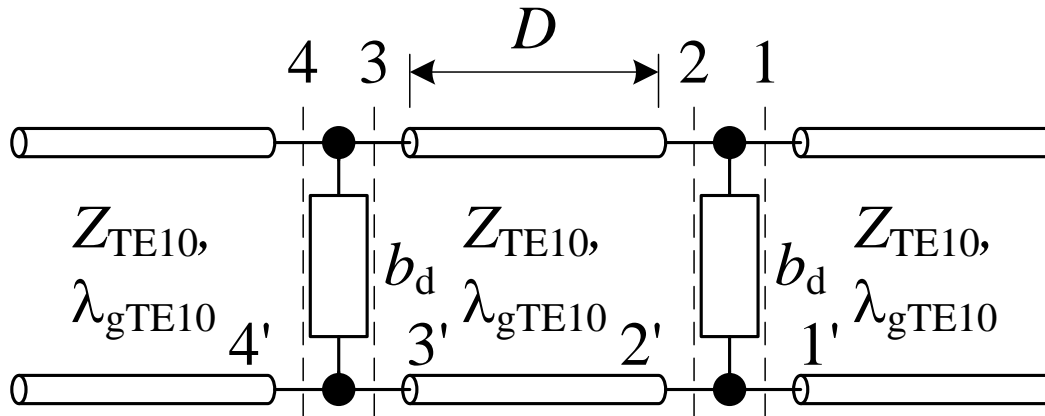
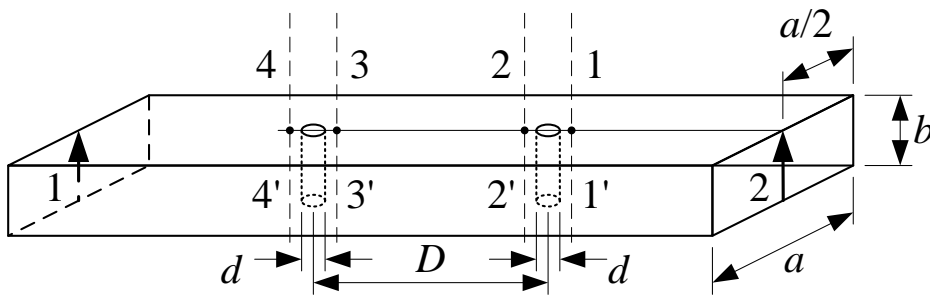
5.25

5.25. У стандардни, хомогени, правоугаони таласовод WR-42 (IEC-R220, $a = 10,668 \text{ mm}$, $b = 4,318 \text{ mm}$) уграђен је микроталасни филтар пропусник опсега учестаности, као на слици 5.25(a). Филтар је реализован помоћу два идентична, танка, савршено проводна стубића пречника $d = 1 \text{ mm}$. (а) Одредити минимално растојање између стубића D_{\min} тако да средња учестаност пропусног опсега филтра буде $f = 20 \text{ GHz}$. (б) Ако се учестаност промени на $f^{(1)} = 19,9 \text{ GHz}$, израчунати коефицијент стојећег таласа на страни генератора. Таласовод је без губитака, са ваздушним диелектриком. Први део решити рачунски, а други графички.



Слика 5.25(a).

5.25

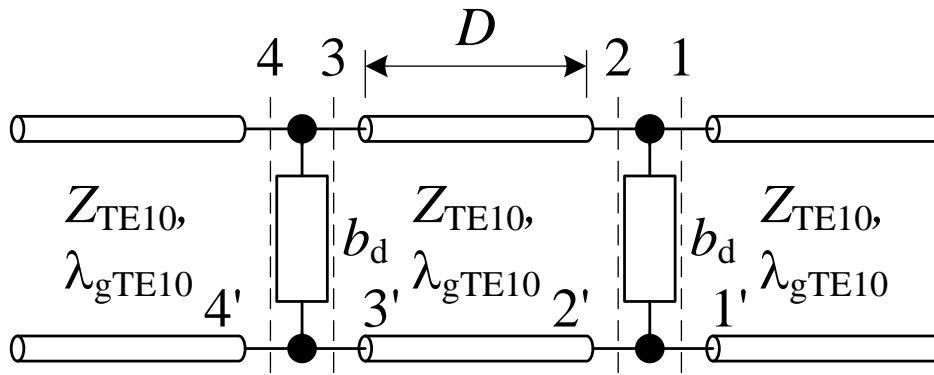


$$b_d = -\frac{2\lambda_g}{a} \left[\ln \left(\frac{4a}{\pi e^2 d} \right) \right]^{-1}$$

$$f_{cTE10} = c_0 / (2a) = 14,05 \text{ GHz} \quad \lambda_0 = c_0 / f = 14,99 \text{ mm}$$

$$\lambda_{gTE10} = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 - (f_{cTE10}/f)^2}} = 21,06 \text{ mm} \quad b_d = -\frac{2\lambda_{gTE10}}{a} \left[\ln \left(\frac{4a}{\pi e^2 d} \right) \right]^{-1} = -6,486$$

5.25



$$\underline{y}_{11'} = 1 \quad \underline{y}_{44'} = 1 \quad \underline{y}_{22'} = 1 + jb_d \quad \underline{y}_{33'} = 1 - jb_d$$

$$\underline{y}(z) = \frac{\underline{y}_{22'} - j \tan \beta z}{1 - j \underline{y}_{22'} \tan \beta z}, \quad z \in (-D, 0)$$

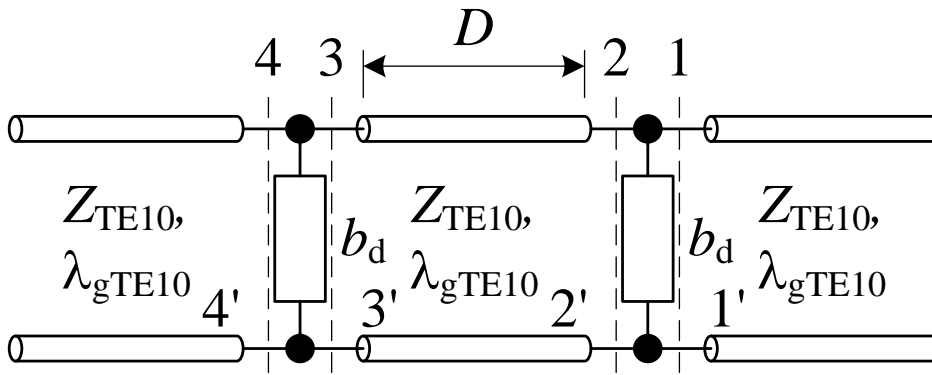
$$\underline{y}_{33'} = \underline{y}(z = -D) = \frac{(1 + jb_d) + j \tan \beta D}{1 + j(1 + jb_d) \tan \beta D} = 1 - jb_d$$

$$(1 + jb_d) + j \tan \beta D = (1 - jb_d)(1 + (j - b_d) \tan \beta D)$$

$$1 + j(\tan \beta D + b_d) = 1 + (j - b_d) \tan \beta D - jb_d - jb_d(j - b_d) \tan \beta D$$

$$1 + j(\tan \beta D + b_d) = 1 - b_d \tan \beta D + b_d \tan \beta D + j(\tan \beta D - b_d + b_d^2 \tan \beta D)$$

5.25



$$1 + j(\tan \beta D + b_d) = 1 - b_d \tan \beta D + b_d \tan \beta D + j(\tan \beta D - b_d + b_d^2 \tan \beta D)$$

$$1 + j(\tan \beta D + b_d) = 1 + j(\tan \beta D - b_d + b_d^2 \tan \beta D)$$

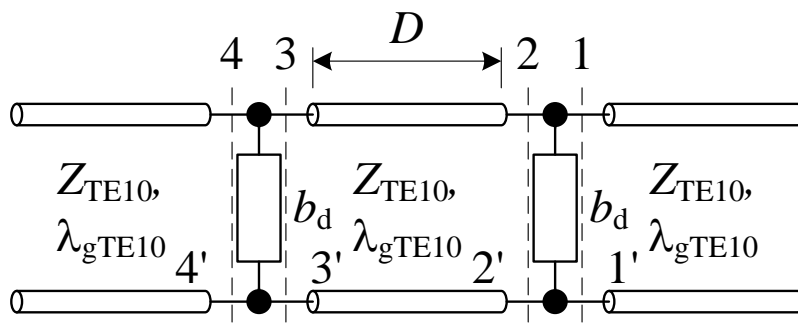
$$b_d = -b_d + b_d^2 \tan \beta D \quad 2b_d = b_d^2 \tan \beta D \quad \frac{2}{b_d} = \tan \beta D$$

$$D = \frac{1}{\beta} \arctan \frac{2}{b_d} + m \lambda_{gTE10} / 2, \quad m \in N_0$$

$$D_{\min} = \frac{\lambda_{gTE10}}{2\pi} \arctan \frac{2}{b_d} + \frac{\lambda_{gTE10}}{2}$$

$$D_{\min} = 9,53 \text{ mm}$$

5.25



$$f^{(1)} = 19,9 \text{ GHz}$$

$$\lambda_{gTE10}^{(1)} = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 - (f_{cTE10}/f^{(1)})^2}} = 21,27 \text{ mm}$$

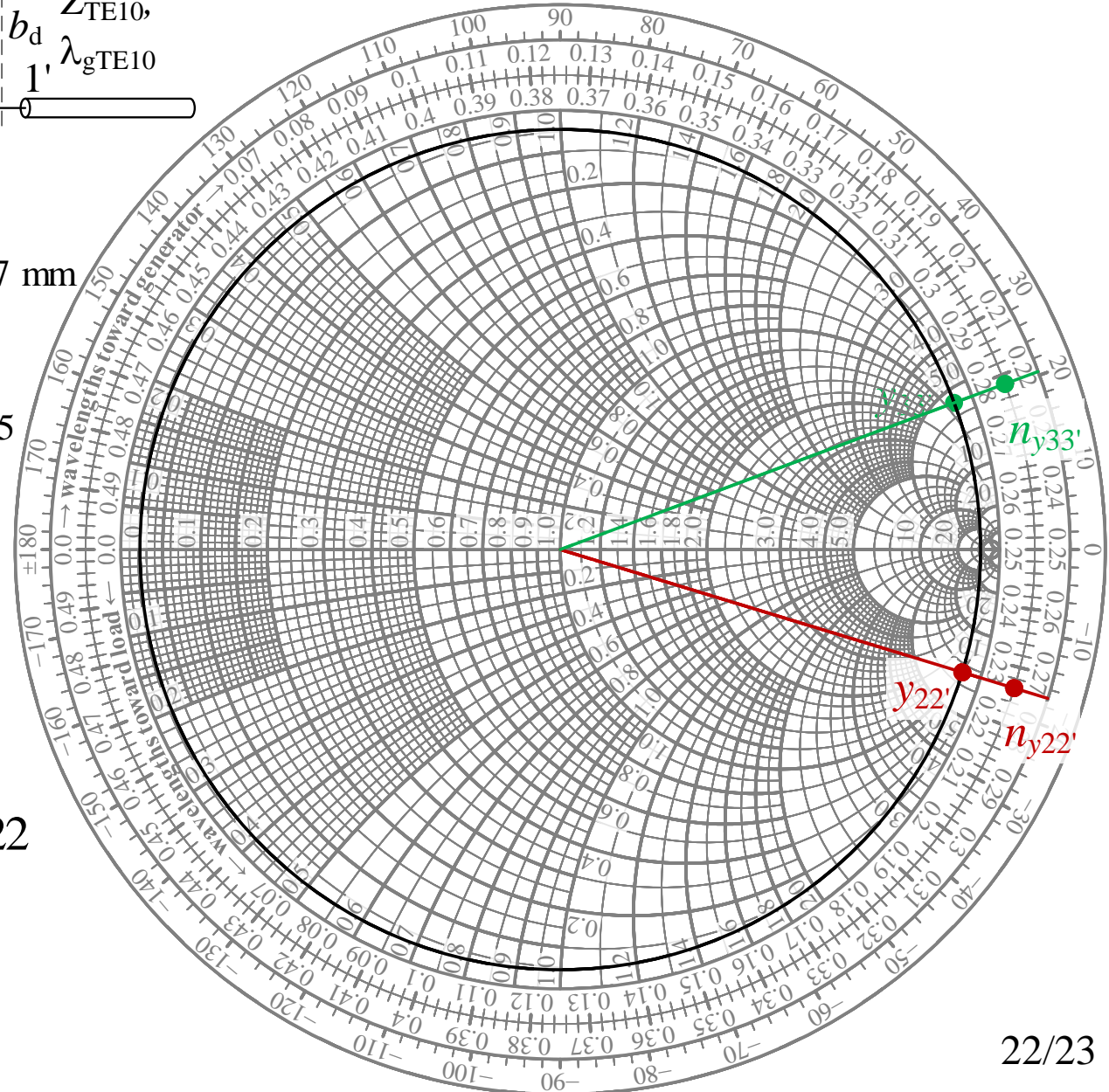
$$b_d^{(1)} = -\frac{2\lambda_{gTE10}^{(1)}}{a} \left[\ln \left(\frac{4a}{\pi e^2 d} \right) \right]^{-1} = -6,55$$

$$y_{-22'} = 1 + j b_d^{(1)} = 1 - j 6,55$$

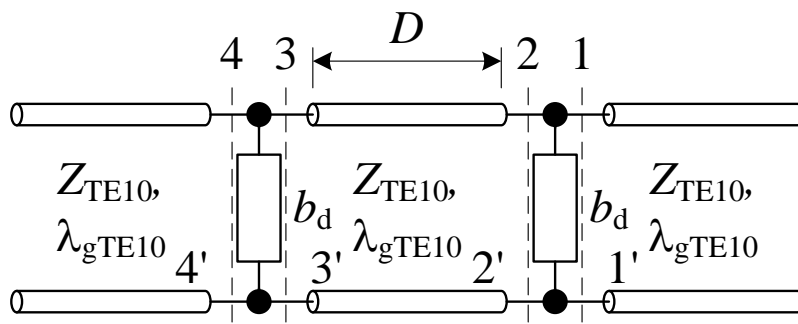
$$n_{y22'} = 0,274$$

$$n_{y33'} = n_{y22'} + \frac{D_{\min}}{\lambda_{gTE10}^{(1)}} = 0,222$$

$$y_{-33'} = 0,7 + j 5,46$$



5.25



$$y_{-33'} = 0,7 + j5,46$$

$$y_{-44'} = y_{-33'} + jb_d^{(1)}$$

$$= 0,7 - j1,09$$

$$\sigma^{(1)} = 3,54$$

