

Микроталасна техника
школска 2023/24. година
- Вежбе -

Јована Петровић

jovanap@etf.rs

Сајт предмета

<https://mtt.etf.bg.ac.rs/mikrotalasna.tehnika.htm>



Grupa za elektromagnetiku, antene i mikrotalase
Elektrotehnički fakultet, Beograd



Home

Plan i program

O predmetu

Prezentacije

Laboratorijske vežbe

Literatura

Stari ispitni rokovi

Dodatna literatura

ETF Beograd

Нове идеје и теме?

Као нове идеје и теме за дипломске и мастер радове добродошли су и предлози студената

Теме за дипломске и мастер радове

Примери дипломских и мастер радова



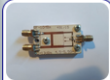
Disk antena



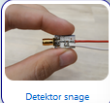
LoRa



FMCW radar



Doppler radar



Detektor snage



Malošumni pojačavač



Elektronski upravjan antenski niz

Mikrotalasna tehnika

Upoznavanje sa osnovnim osobinama, jednačinama i inženjerskim konceptima pasivnih i aktivnih komponenti i kola pri učestanostima 0,3-300GHz. Osposobljavanje studenata za rešavanje jednostavnijih praktičnih problema i sagledavanje puteva rešavanja složenijih problema. Pružanje znanja neophodnih kao osnova za druge predmete mikrotalasne struke.

Obaveštenje (27.09.2022.)

Uvodno predavanje održaće se u **ponedeljak, 3. oktobra, u 17:15 u učionici 57**. Zainteresovani studenti mogu se javiti i e-mailom na ssavic@etf.rs ili darko@etf.rs.

O predmetu:

- Mikrotalasna tehnika (13E073MT)
- Detaljni plan i program predmeta
- O polaganju ispita
- Fond časova: 3+1.5+0.5

Prezentacije:

0. Organizacija predmeta
1. Uvod
2. Opšte osobine vođenih elektromagnetskih talasa
3. Vodovi sa TEM talasima
4. Planarni vodovi
5. Pravougaoni talasovod

6. Kružni talasovod
7. Rezonatori
8. Matrični parametri mikrotalasnih mreža
10. Mikrotaladni poluprovodnički elementi
11. Mikrotalasne cevi
12. Antene

Laboratorijske vežbe:

- Laboratorijska vežba 1: Merni vod
- Laboratorijska vežba 2: Kolo za prilagođenje
- Laboratorijska vežba 3: Analizator mreža (vežba je pokaznog tipa)
- Raspored studenata po grupama

Literatura:

- **A. Đorđević, D. Tošić**, *Mikrotalasna tehnika*, 1. izdanje, Akademska misao, Beograd, 2006. Spisak uočenih grešaka i odgovarajućih ispravki
- **S. Savić, D. Olčan, A. Đorđević**, *Zbirka ispitnih pitanja i zadataka iz Mikrotalasne tehnike*, 1. izdanje, Akademska misao, Beograd, 2022.
- **A. Đorđević**, Antenski nizovi
- **A. Đorđević**, Pogonsko pojačanje antena
- **D. Ninković**, Spisak zadataka sa vežbi



Vesti

27. septembar 2022.



Микроталасна техника

др Слободан Савић, мс Јована Петровић и мс Дарко Нинковић
(ssavic@etf.rs) (jovana@etf.rs) (darko@etf.rs)

Обавезни и изборни предмет на основним академским студијама
Школска 2022/23. година

Уводно предавање:

**Понеделјак, 3. октобар 2022.,
уџионица 57, 17:15 часова**

Циљеви предмета:

- Упознавање са основним својствима, јединицама и инженјерским концептима пасивних и активних компоненти и кола при учестаностима 0,3-300 GHz
- Пружање знања неопходних као основа за друге предмете микроталасне струке

Садржај предмета:

- Увод
- Просторно вођених електромагнетских TEM, TE и TM таласа.
- Водови
 - С-тојни таласи. Свјетлов дијаграм. Основна кола за прилагођење и трансформатори импедансе. Анализа водова методама теорије поља. Класични водови и планарни водови. Компоненте у теорији водова.
- Таласоводи
 - Правоугаони таласоводи. Кружни таласоводи. Резонатори. Таласоводне компоненте.
- Параметри расејања
 - Дефиниција и основне особине. Прилагођења, ослабљивачи, померачи фазе, делитељи снаге, усмерени сферичални, нелинеарни компоненти.
- Увод у микроталасне полупроводничке компоненте
 - PIN диоде. Диоде са тачкастим спојем. Шотки диоде. Тунел диоде. Диоде са брзим опоравком. Вариктори. Ган диоде. Лавинске диоде. Биполарни транзистори. Транзистори са ефектом поља. Микроталасна интегрисала кола.
- Увод у микроталасне цеви
 - Класични. Магнетрони. Цени са прогресивним таласом.
- Зрачење електромагнетских таласа
 - Основни принципи и Херцов дивергенс. Предајне и пријемне антене. Жичане антене са симулационом расејањем струје. Микровални пинови. Зрачење из отвора. Микроталасне антене. Расејање и релативна јединица.

Контакт
Слободан Савић
Кабинет 64
Email: ssavic@etf.rs

Website: <https://mtt.etf.bg.ac.rs/mikrotalasna.tehnika.htm>

Уводно предавање

Стари испитни рокovi:

- Резултати ispita, jul 2022.

- OT3MT/0E4MT, kolokvijum 2010.

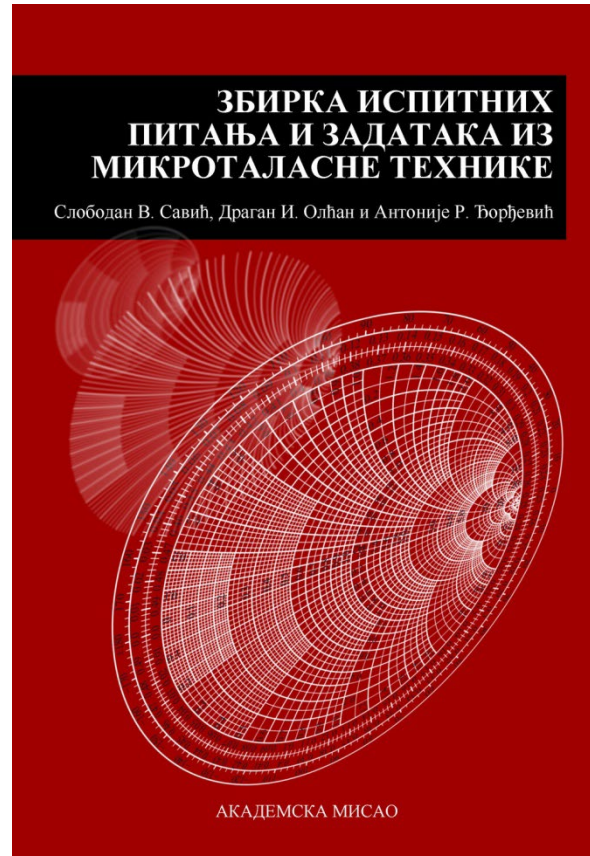
Програм

1. Смитов дијаграм
2. Кола за прилагођење
3. Коаксијални и двожични вод
4. Микротракасти (*microstrip*) вод
5. Таласоводи
6. s -параметри
7. Антене

Колоквијум

Збирка задатака

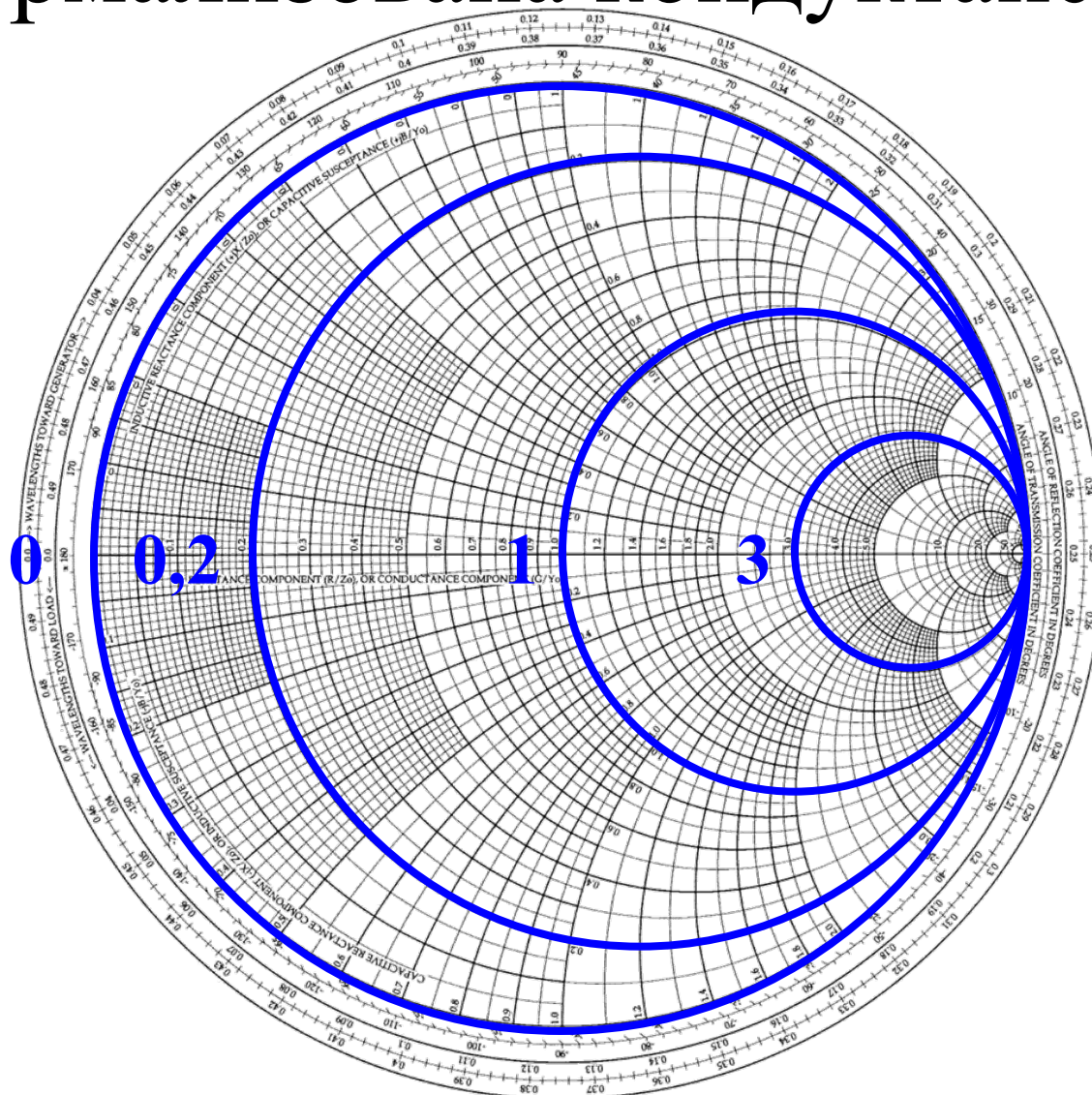
- Слободан Савић, Драган Олћан, Антоније Ђорђевић, *Збирка испитних питања и задатака из микроталасне технике*, ЕТФ Београд 2022.



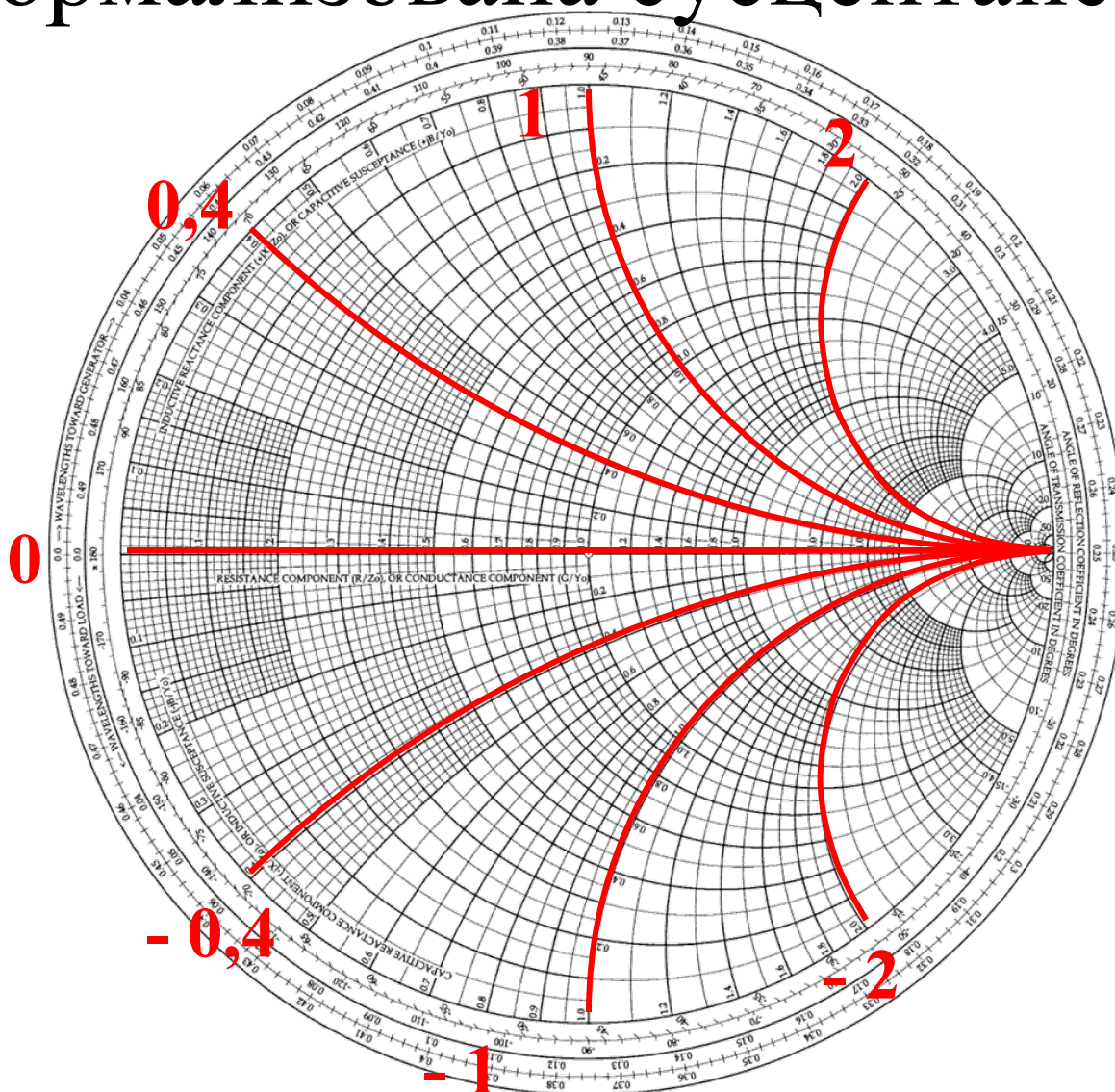
Смитов дијаграм

- Билинеарна трансформација импеданси и коефицијената рефлексije – Смитов дијаграм
- Радимо са нормализованим импедансама \underline{z} и адмитансама \underline{y}
- Нормализација се врши у односу на карактеристичну импедансу вода Z_c (односно номиналну импедансу приступа Z_0)

Нормализована резистанса r (нормализована кондуктанса g)



Нормализована реактанса x (нормализована сусцептанса b)

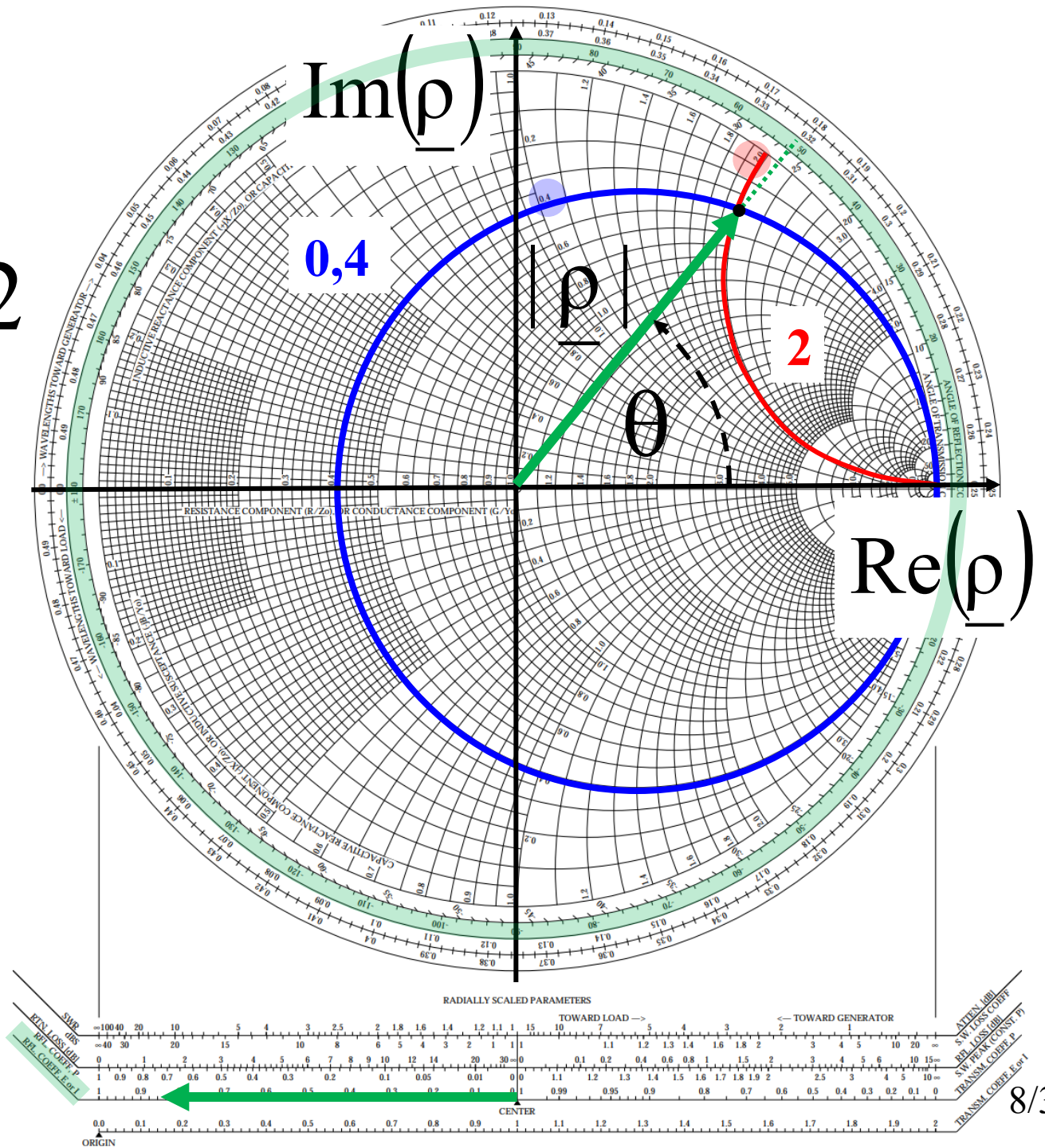


$$\underline{z} = 0,4 + j2$$

$$\underline{\rho} = |\underline{\rho}| e^{j\theta}$$

$$|\underline{\rho}| \approx 0,855$$

$$\theta \approx 51,69^\circ$$



3.20

3.20. Комплексни коефицијент рефлексije пријемника прикљученог на вод је $\underline{\rho}_0 = j/2$. Израчунати (а) нормализовану импедансу пријемника, (б) нормализовану адмитансу пријемника и (в) коефицијент стојећег таласа на воду.

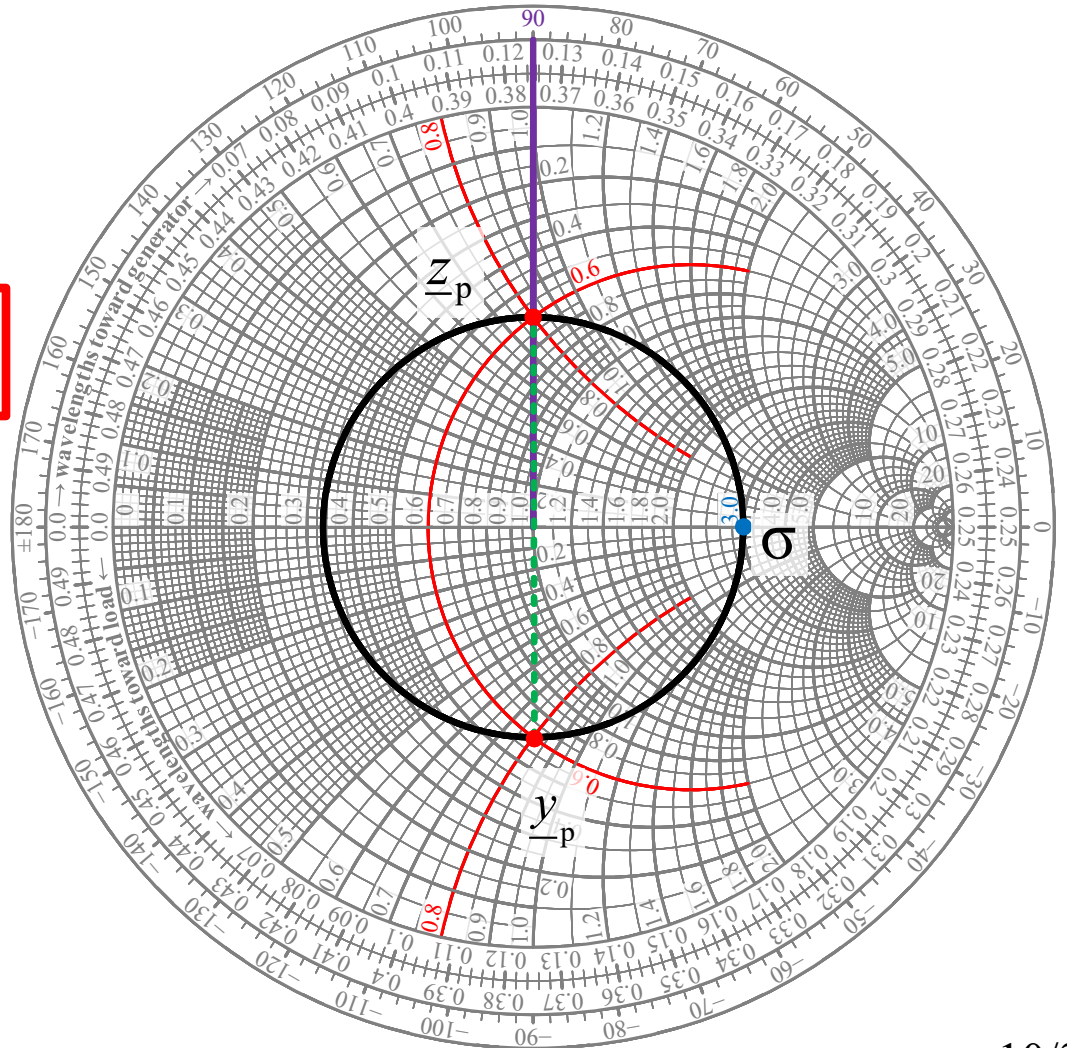
3.20

$$\underline{\rho}_0 = j0,5 = 0,5e^{j\pi/2}$$

$$\underline{z}_p = \frac{1 + \underline{\rho}_0}{1 - \underline{\rho}_0} = \boxed{0,6 + j0,8}$$

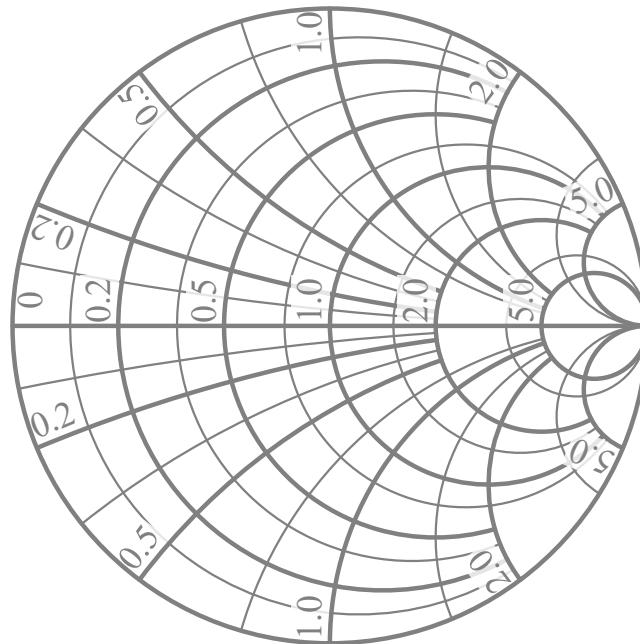
$$\underline{y}_p = \frac{1}{\underline{z}_p} = \boxed{0,6 - j0,8}$$

$$\sigma = \frac{1 + |\underline{\rho}_0|}{1 - |\underline{\rho}_0|} = \boxed{3}$$



3.36

3.36. Модул нормализоване комплексне импедансе пасивног пријемника је $|z_p| = 1/2$. (а) У Смитов дијаграм уцртати тачке које одговарају комплексном коефицијенту рефлексije овог пријемника када је он чисто резистиван, односно чисто реактиван. (б) На основу решења под (а) скицирати геометријско место тачака које одговара комплексном коефицијенту рефлексije овог пријемника.



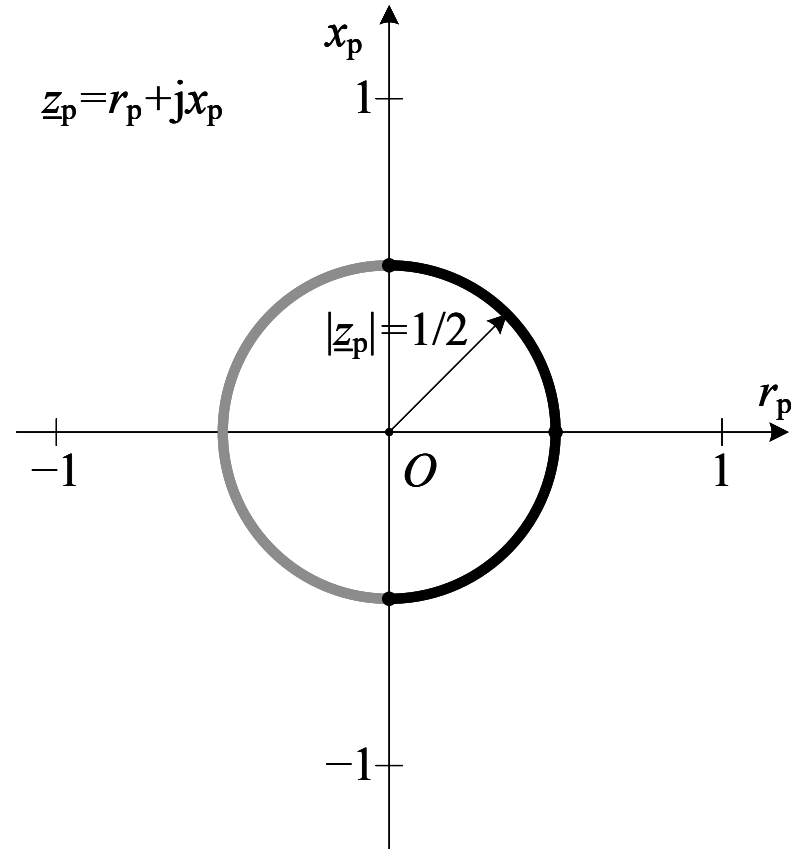
3.36

- Раван нормализоване комплексне импедансе

$$|z_p|^2 = r_p^2 + x_p^2 = 1/4$$

$$r_p \geq 0$$

$$z_p|_{x_p=0} = 1/2 \quad z_p|_{r_p=0} = \pm j/2$$



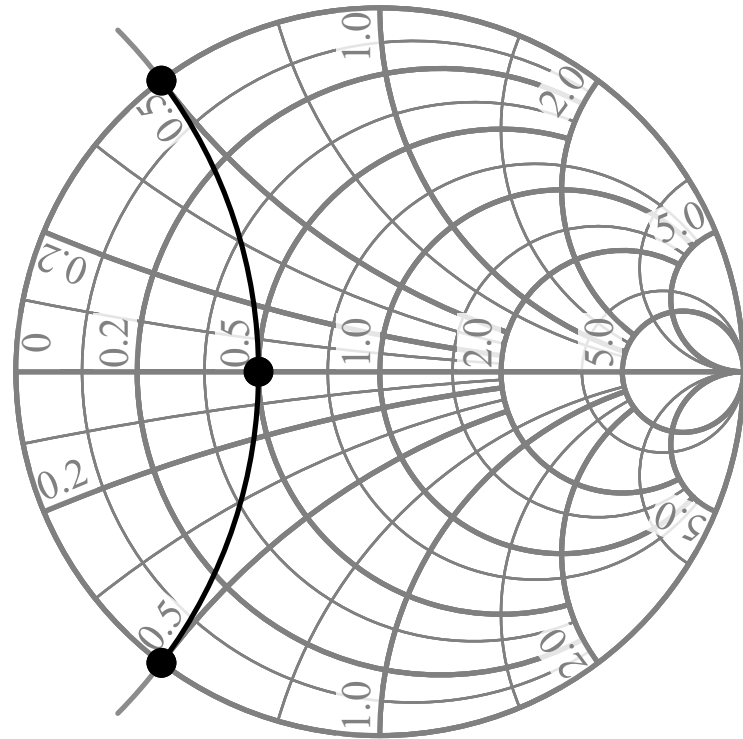
Билинеарном трансформацијом, праве и кружнице из равни комплексне импедансе пресликавају се у праве или кружнице у равни комплексног коефицијента рефлексije.

3.36

$$\underline{z}_p = 1/2$$

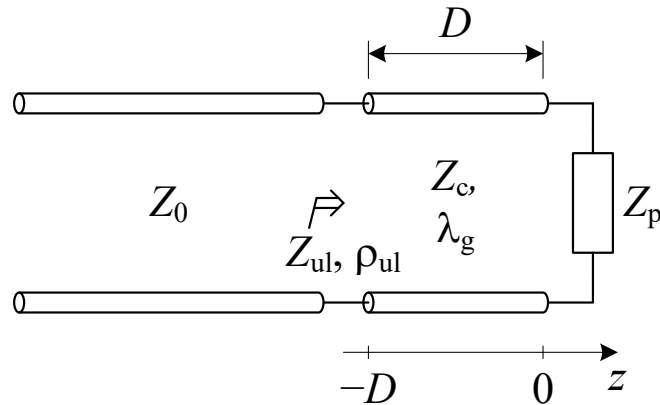
$$\underline{z}_p = -j/2$$

$$\underline{z}_p = j/2$$



3.43

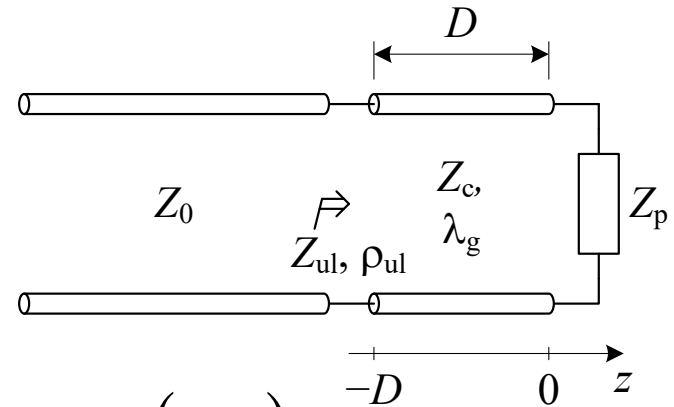
3.43. Вод без губитака, карактеристичне импедансе $Z_c = 200 \Omega$, затворен је пријемником импедансе $Z_p = 100 \Omega$. Посредством овог вода пријемник је повезан на вод карактеристичне импедансе $Z_0 = 100 \Omega$, као што је приказано на слици 3.43(a). (а) Скицирати Смитов дијаграм и уцртати геометријско место тачака које одговара улазном коефицијенту рефлексije вода карактеристичне импедансе Z_c када му се дужина D мења. Смитов дијаграм нормализовати на Z_0 . Израчунати, при томе, (б) минимални и (в) максимални коефицијент стојећег таласа на воду карактеристичне импедансе Z_0 .



Слика 3.43(a).

3.43

$$\underline{Z}(z) = Z_c \frac{\underline{Z}_p - jZ_c \tan(\beta z)}{Z_c - j\underline{Z}_p \tan(\beta z)}$$



$$\underline{Z}(z = -D) = \underline{Z}_{ul}(D) = Z_c \frac{\underline{Z}_p + jZ_c \tan(\beta D)}{Z_c + j\underline{Z}_p \tan(\beta D)}$$

$$D^{(1)} = 0, D^{(2)} = \lambda_g/8, D^{(3)} = \lambda_g/4$$

$$\beta D^{(1)} = 0, \beta D^{(2)} = \pi/4, \beta D^{(3)} = \pi/2$$

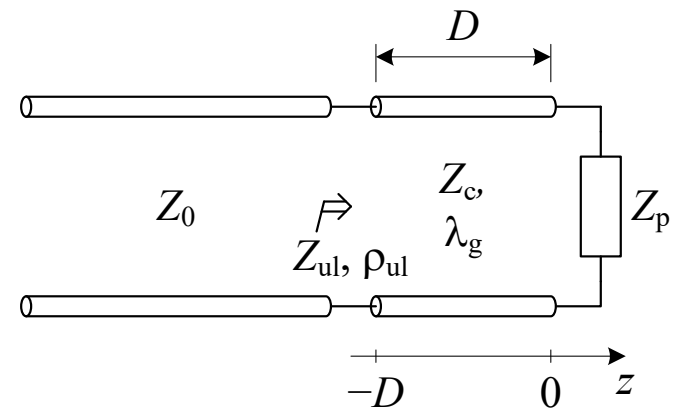
$$\tan(\beta D^{(1)}) = 0, \tan(\beta D^{(2)}) = 1, \tan(\beta D^{(3)}) \rightarrow \infty$$

3.43

$$\underline{Z}_{\text{ul}}(D^{(1)}) = \underline{Z}_{\text{p}} = 100 \Omega$$

$$\underline{Z}_{\text{ul}}(D^{(2)}) = Z_{\text{c}} \frac{\underline{Z}_{\text{p}} + jZ_{\text{c}}}{Z_{\text{c}} + j\underline{Z}_{\text{p}}} = 40(4 + j3) \Omega$$

$$\underline{Z}_{\text{ul}}(D^{(3)}) = Z_{\text{c}} \frac{Z_{\text{c}}}{\underline{Z}_{\text{p}}} = 400 \Omega$$

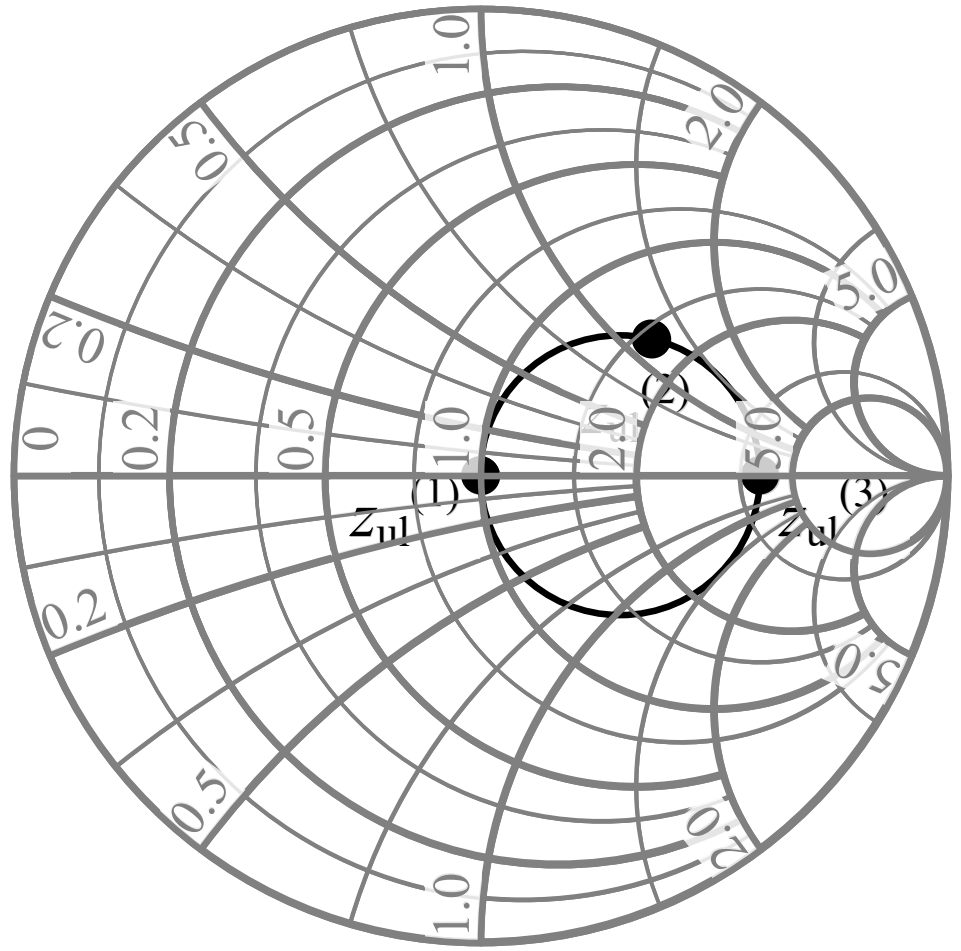


3.43

$$\underline{Z}_{ul}^{(1)} = \frac{Z_{ul}(D^{(1)})}{Z_0} = 1$$

$$\underline{Z}_{ul}^{(2)} = \frac{Z_{ul}(D^{(2)})}{Z_0} = 1,6 + j1,2$$

$$\underline{Z}_{ul}^{(3)} = \frac{Z_{ul}(D^{(3)})}{Z_0} = 4$$

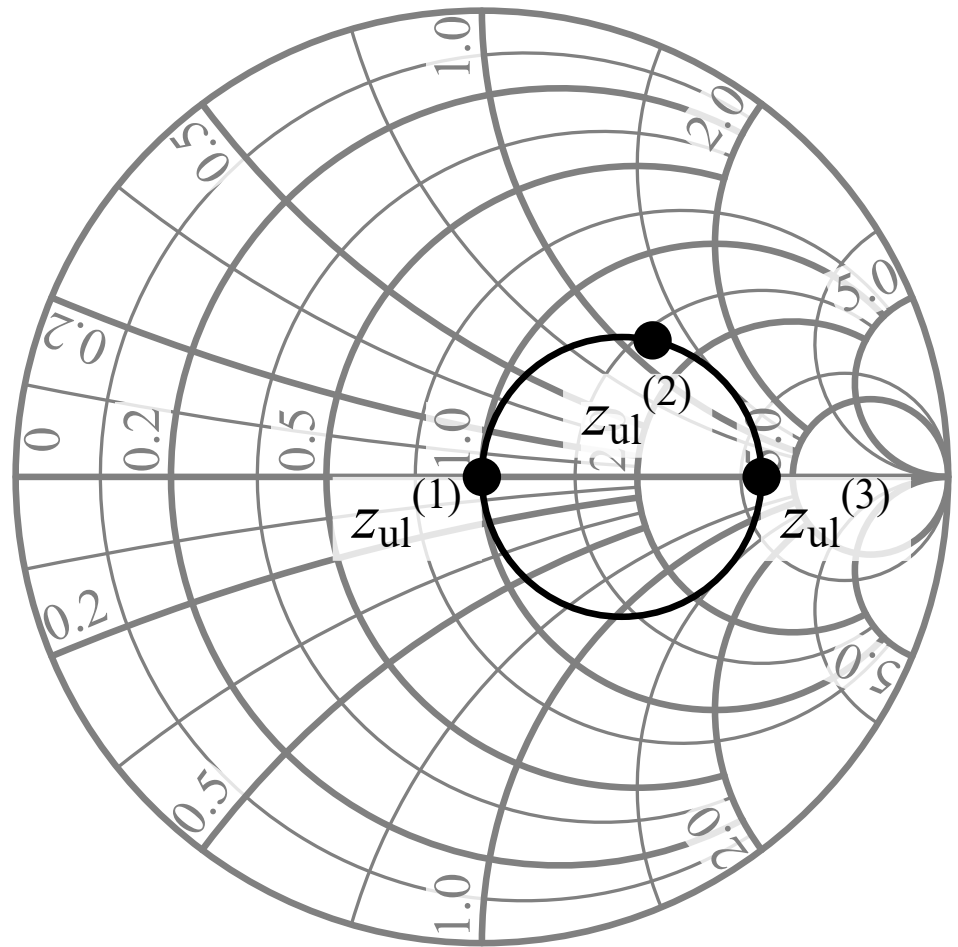


3.43

$$\sigma = \frac{1 + |\rho_{ul}|}{1 - |\rho_{ul}|}$$

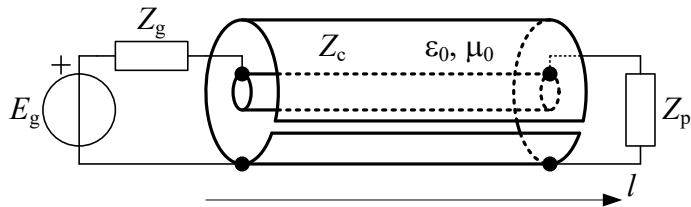
$$\sigma_{\min} = \frac{1 + |\rho_{ul}^{(1)}|}{1 - |\rho_{ul}^{(1)}|} = 1$$

$$\sigma_{\max} = \frac{1 + |\rho_{ul}^{(3)}|}{1 - |\rho_{ul}^{(3)}|} = 4$$

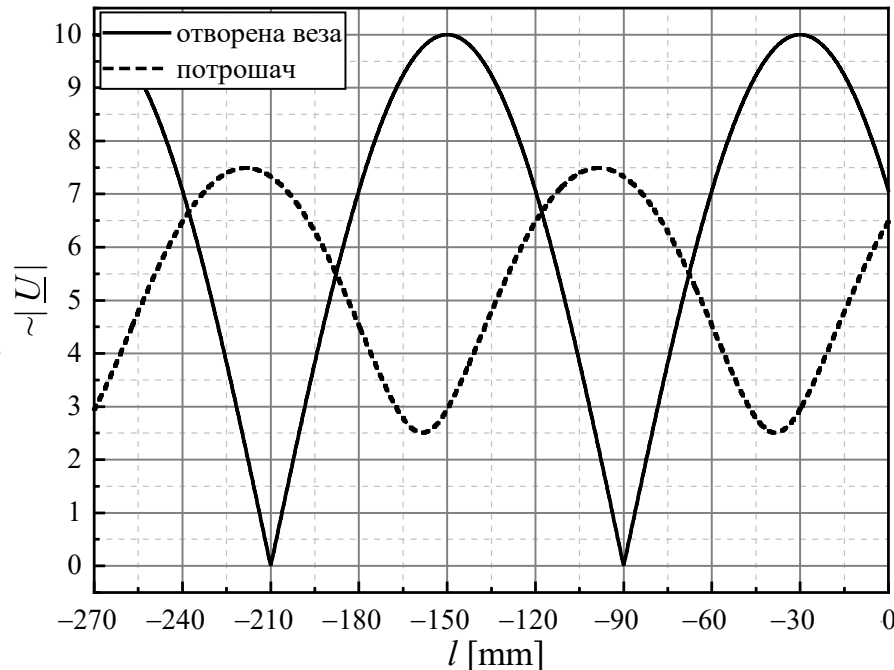


3.46

3.46. Мерни систем се састоји од ваздушног коаксијалног вода са прорезом, сонде и индикатора стојећег таласа. Карактеристична импеданса коаксијалног вода је $Z_c = 50 \Omega$. На једном крају вода прикључен је генератор непознате учестаности, а на другом крају је прикључен потрошач, као што је приказано на слици 3.46(а). Индикатором стојећег таласа снимљени су подаци пропорционални ефективној вредности напона на воду за случај када је на месту потрошача вод отворен и када је везан потрошач непознате импедансе Z_p . Снимљени подаци су приказани на слици 3.46(б). Бројне вредности на l -оси расту од генератора ка потрошачу, а нула осе је померена у односу на пресек у ком се везује потрошач. Први максимум напона стојећег таласа, за случај када је везан потрошач, налази се на координати $l_{p \max}^{(1)} = -98,5 \text{ mm}$, а коефицијент стојећег таласа је $\sigma_p = 3$. Израчунати: (а) учестаност генератора f , (б) комплексну импедансу потрошача, (в) модул коефицијента рефлексије у децибелима у пресеку у ком је везан потрошач и (г) фазу коефицијента рефлексије у радијанима у пресеку у ком је везан потрошач.



Слика 3.46(а).



Слика 3.46(б).

3.46

$$|\underline{U}(z)| = |\underline{U}_{i0}| \left| 1 + \underline{\rho}_0 e^{-j2\beta z} \right|$$

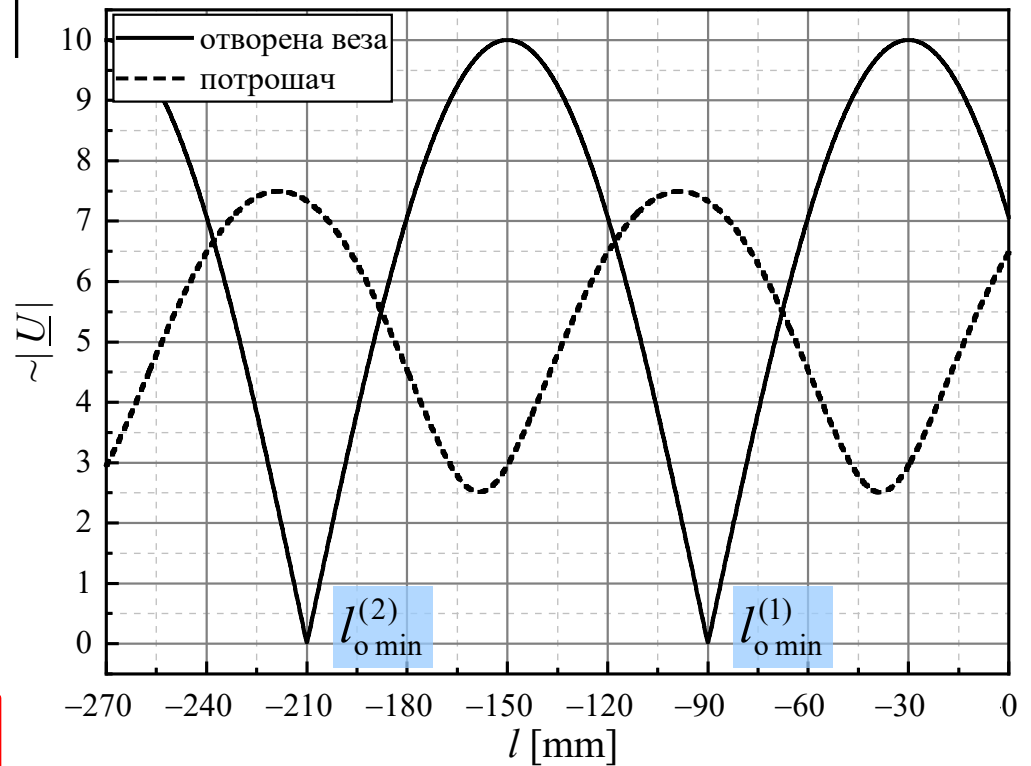
$$\lambda_g / 2 = l_{o \min}^{(1)} - l_{o \min}^{(2)}$$

$$l_{o \min}^{(1)} = -90 \text{ mm}$$

$$l_{o \min}^{(2)} = -210 \text{ mm}$$

$$\lambda_g = 240 \text{ mm}$$

$$f = c_0 / \lambda_g \approx \boxed{1,25 \text{ GHz}}$$



3.46

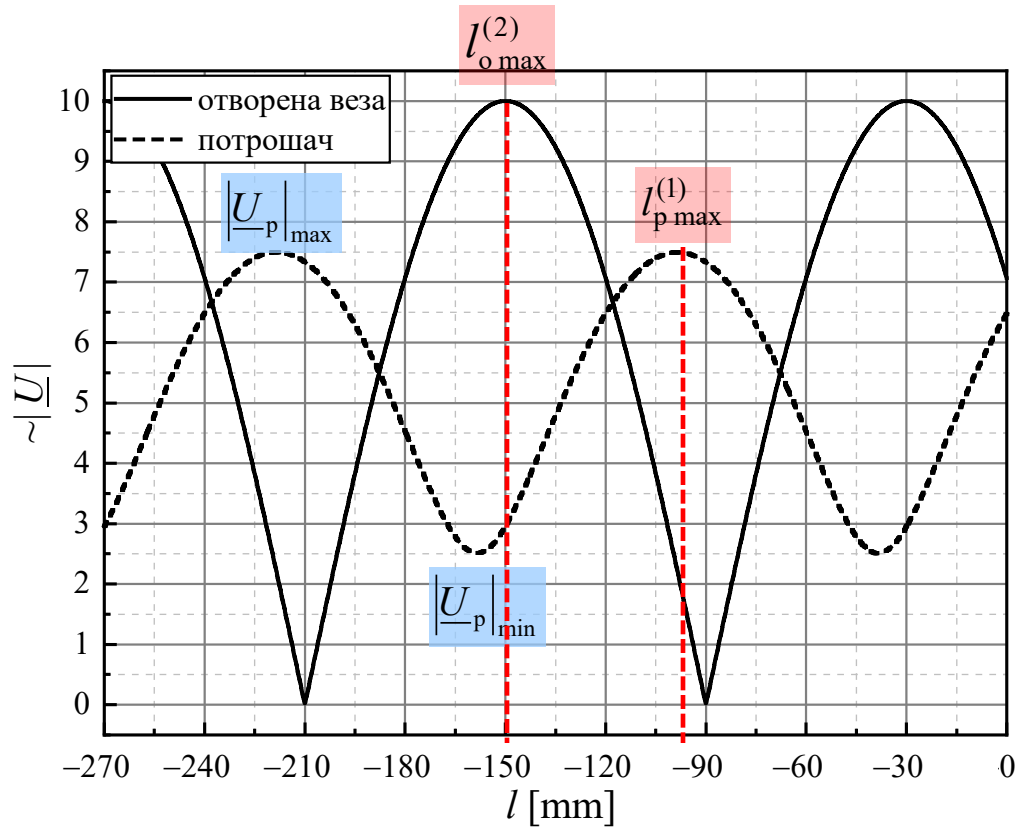
$$\sigma_p = \frac{|U_p|_{\max}}{|U_p|_{\min}} = \frac{7,5}{2,5} = 3$$

$$z_{p \max}^{(1)} = \sigma_p = 3$$

$$l_{p \max}^{(1)} = -98,5 \text{ mm}$$

$$l_{o \max}^{(2)} = -150 \text{ mm}$$

$$\Delta n = \frac{l_{p \max}^{(1)} - l_{o \max}^{(2)}}{\lambda_g} = 0,215$$

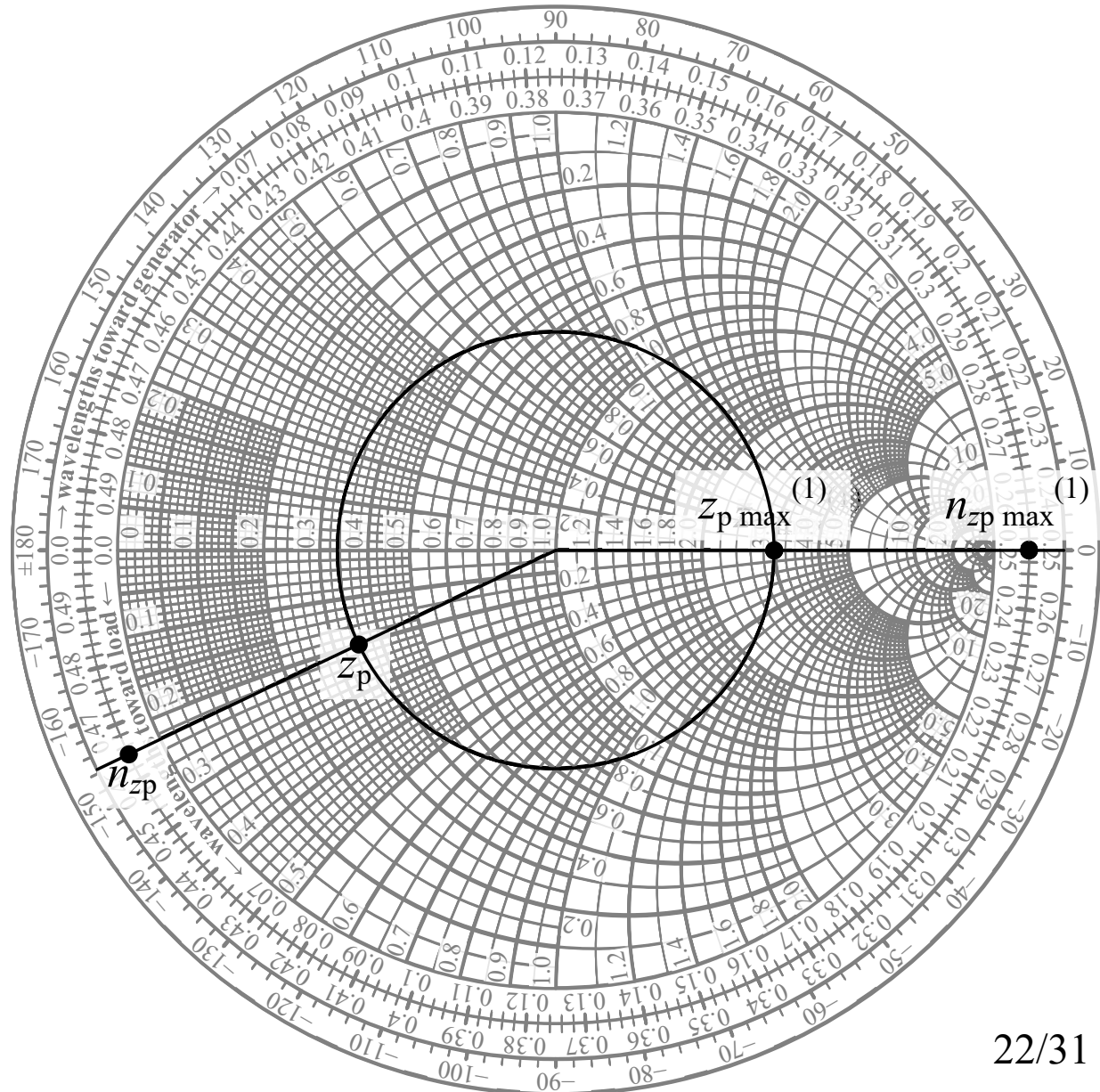


3.46

$$z_{p \max}^{(1)} = \sigma_p = 3$$

$$n_{z_p \max}^{(1)} = 0,25$$

$$n_{z_p} = n_{z_p \max}^{(1)} + \Delta n = 0,465$$



3.46

$$\underline{z}_p = 0,35 - j0,2$$

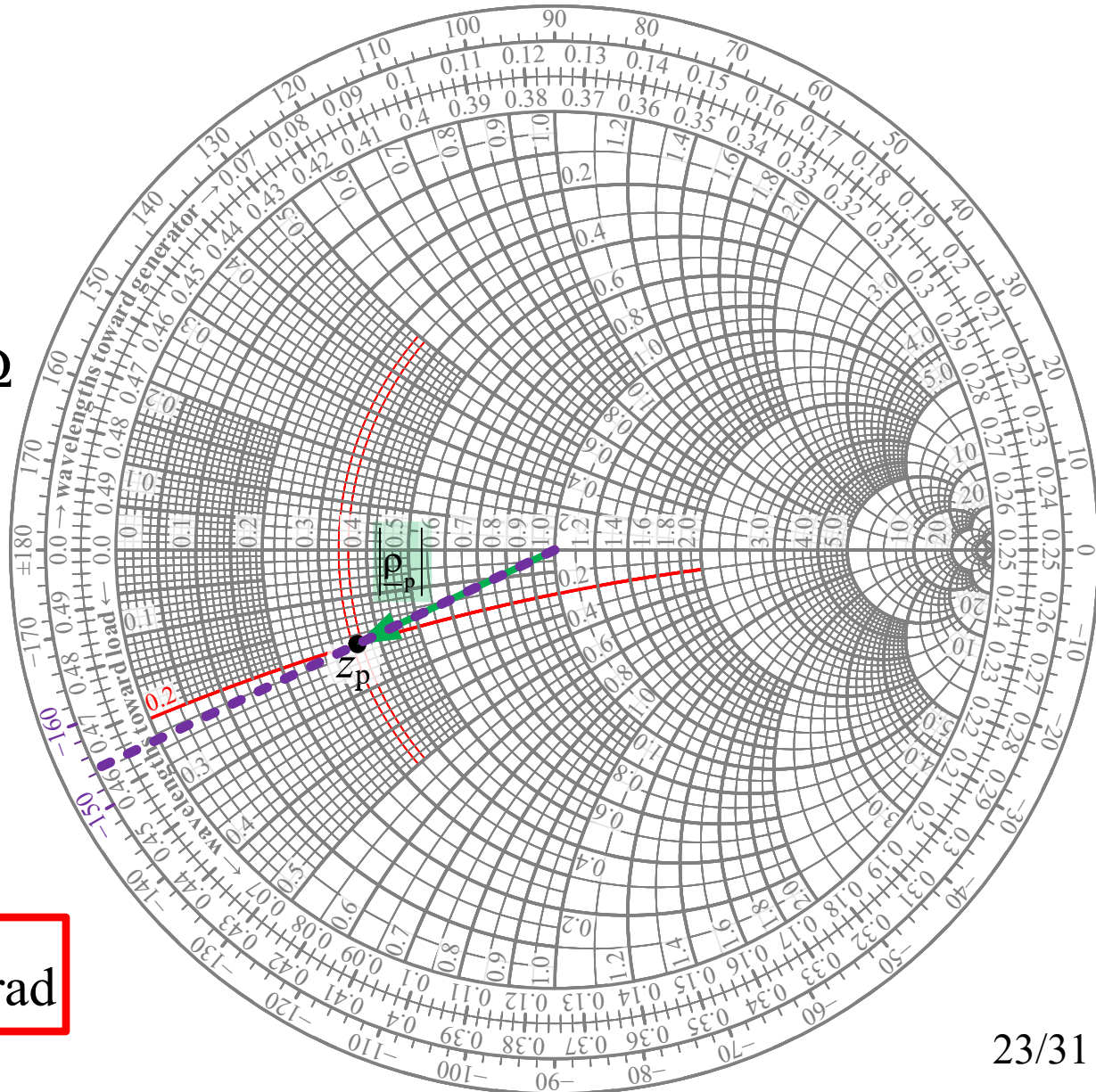
$$\underline{Z}_p = \underline{z}_p Z_c = (17,5 - j10)\Omega$$

$$\left| \underline{\rho}_p \right| = 0,498$$

$$\left| \underline{\rho}_p \right|_{\text{dB}} = 20 \log_{10} \left| \underline{\rho}_p \right| = -6,06 \text{ dB}$$

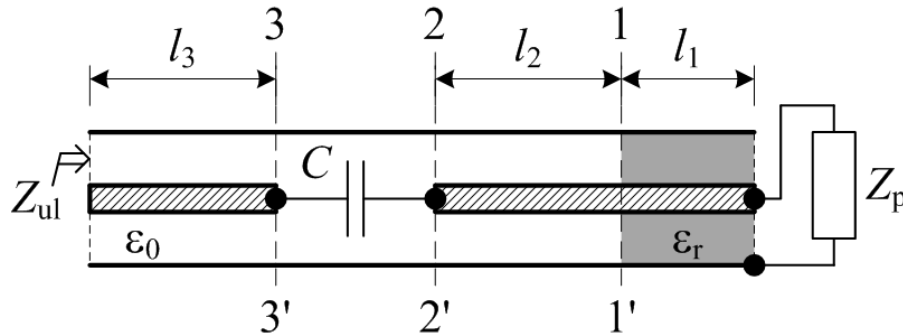
$$\arg(\underline{\rho}_p) = -154,5^\circ$$

$$\arg(\underline{\rho}_p) = \frac{-154,5}{180} \pi = -2,7 \text{ rad}$$



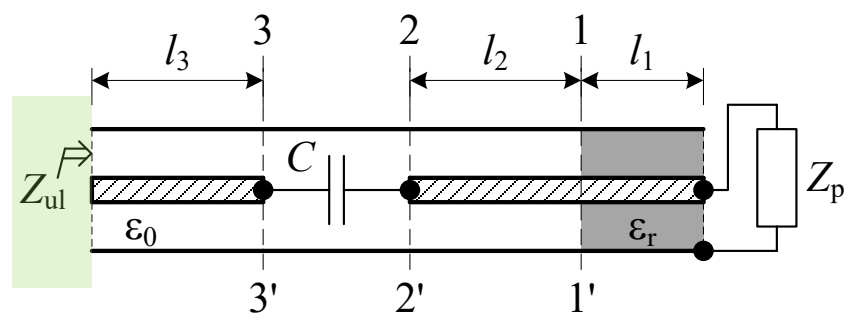
3.47

3.47. Коаксијални систем на слици 3.47(a) је без губитака. Познато је $l_1 = 150 \text{ mm}$, $l_2 = 250 \text{ mm}$, $l_3 = 300 \text{ mm}$, $C = 2 \text{ pF}$ и $\epsilon_r = 2,25$. Израчунати комплексну импедансу потрошача ако је измерена улазна импеданса $Z_{\text{ul}} = 20(3 - j10) \Omega$. Карактеристична импеданса дела вода испуњеног ваздухом је $Z_c^{(0)} = 50 \Omega$. Учестаност генератора је $f = 1,5 \text{ GHz}$.



Слика 3.47(a).

3.47



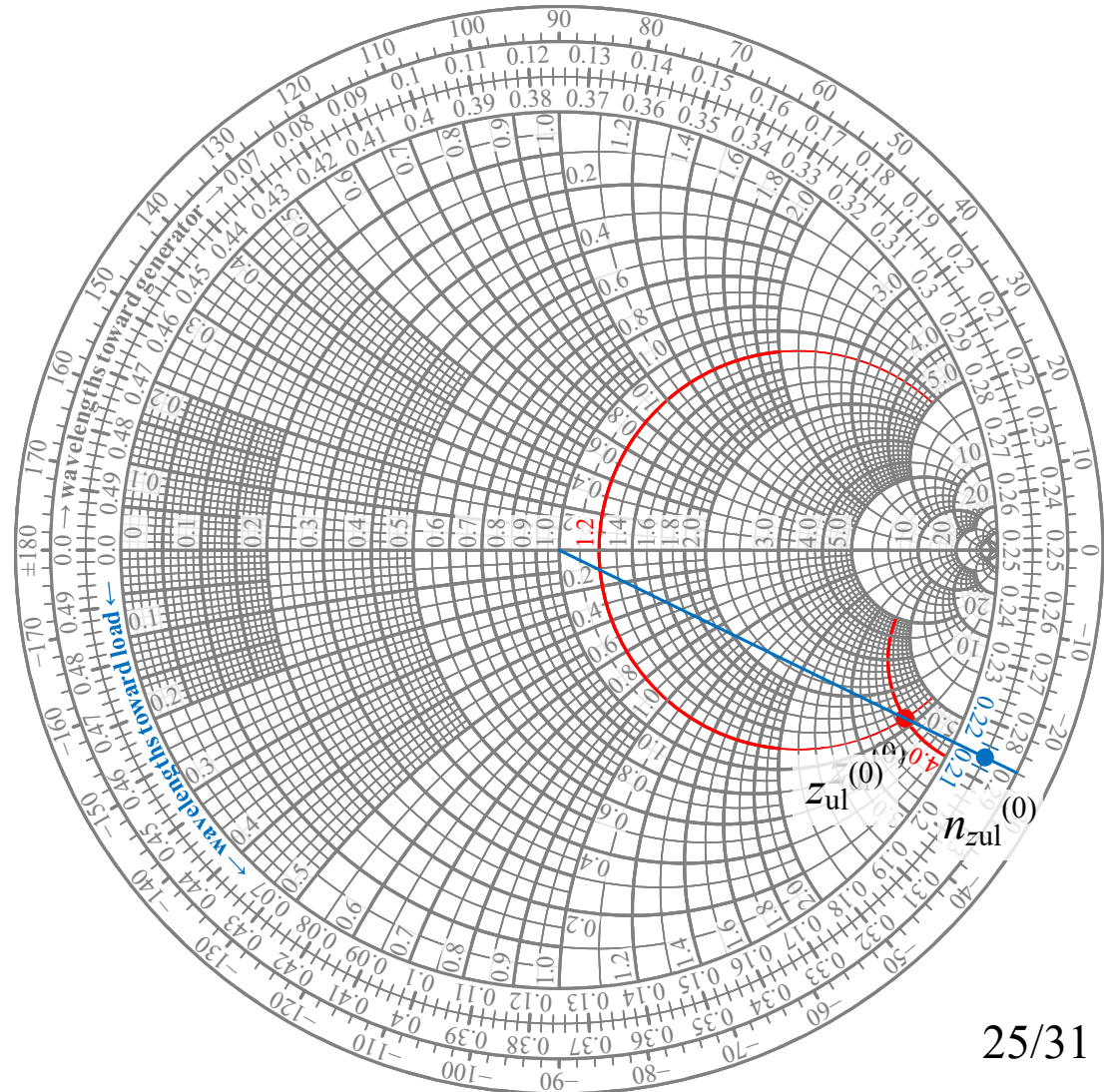
$$Z_c^{(1)} = \frac{Z_c^{(0)}}{\sqrt{\epsilon_r}} = 33,33 \Omega$$

$$\lambda_0 = c_0 / f = 199,9 \text{ mm}$$

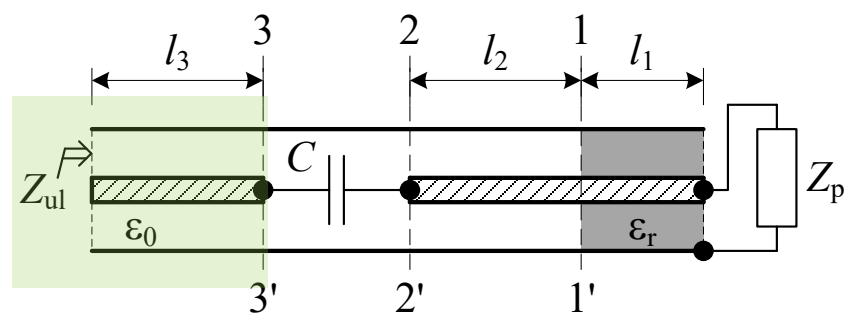
$$\lambda_g = \lambda_0 / \sqrt{\epsilon_r} = 133,2 \text{ mm}$$

$$\underline{z}_{ul}^{(0)} = \underline{Z}_{ul} / Z_c^{(0)} = 1,2 - j4$$

$$n_{zul}^{(0)} = 0,214$$



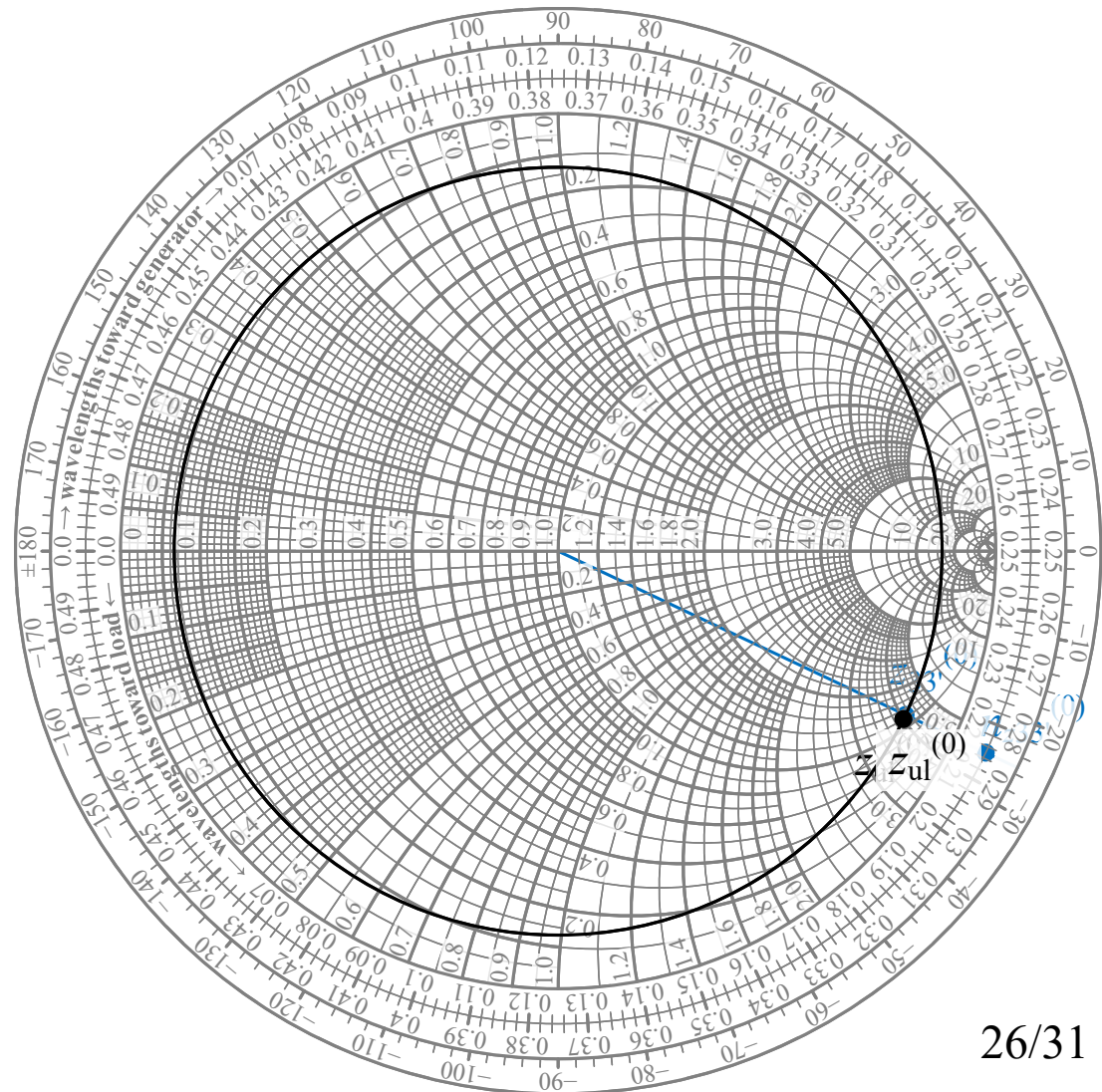
3.47



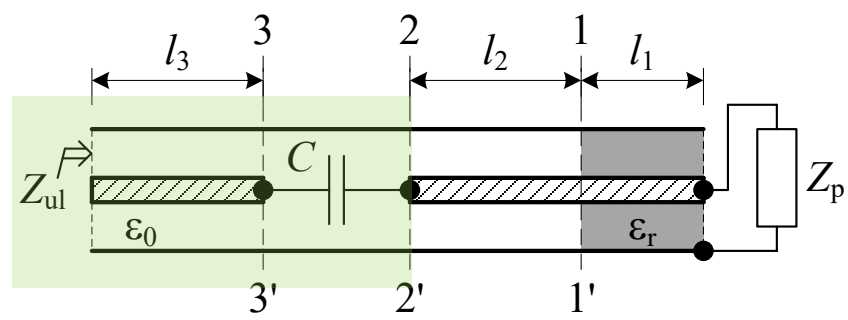
$$n_{zul}^{(0)} = 0,214$$

$$n_{z33'}^{(0)} = n_{zul}^{(0)} + \frac{l_3}{\lambda_0} = 0,215$$

$$z_{33'}^{(0)} = 1,26 - j4,1$$



3.47

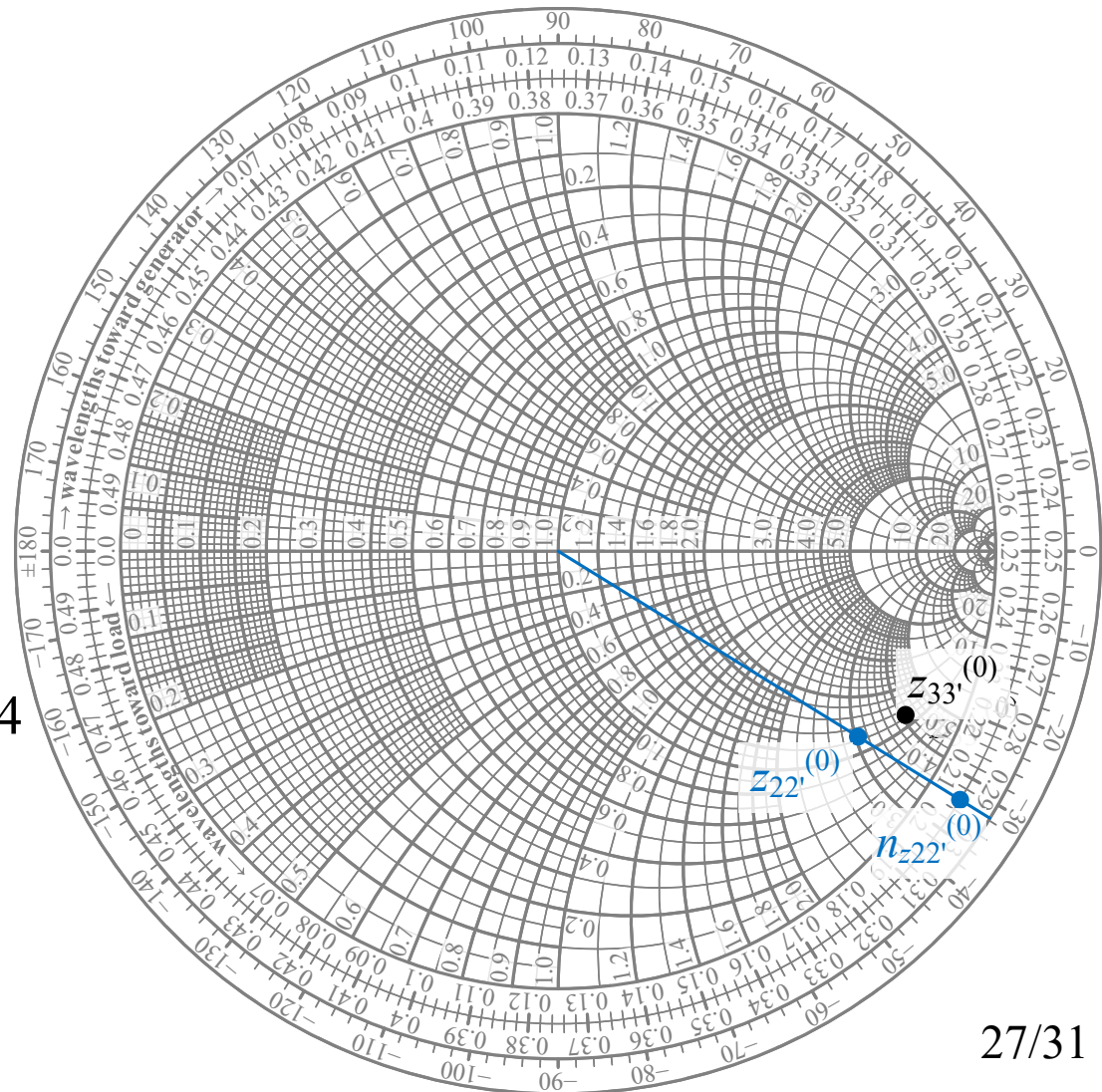


$$\underline{z}_{33'}^{(0)} = 1,26 - j4,1$$

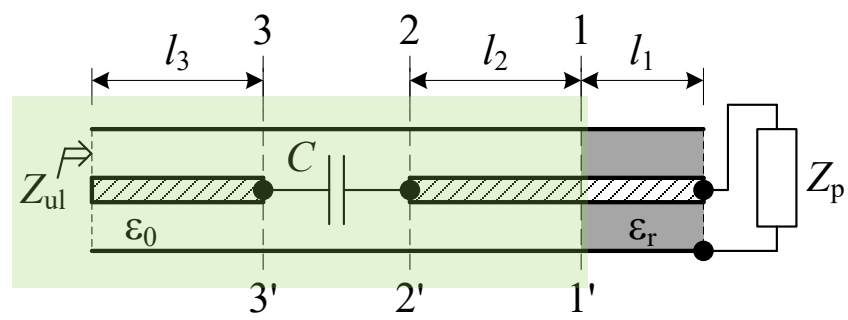
$$\underline{z}_{33'}^{(0)} = \underline{z}_{22'}^{(0)} + \underline{z}_C$$

$$\underline{z}_{22'}^{(0)} = \underline{z}_{33'}^{(0)} - \frac{1}{j2\pi f C Z_c^{(0)}} = 1,26 - j3,04$$

$$n_{z_{22'}^{(0)}} = 0,206$$



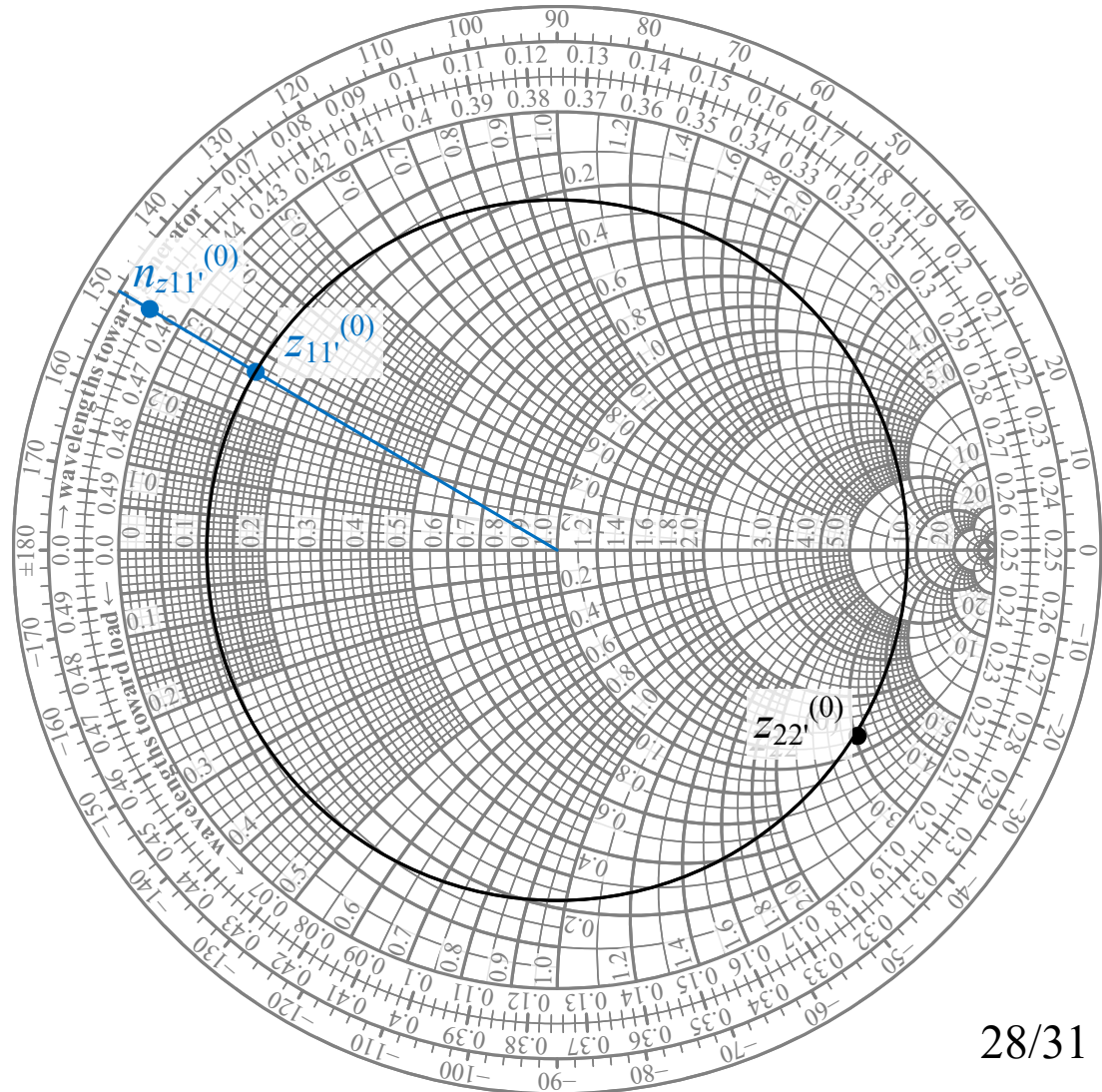
3.47



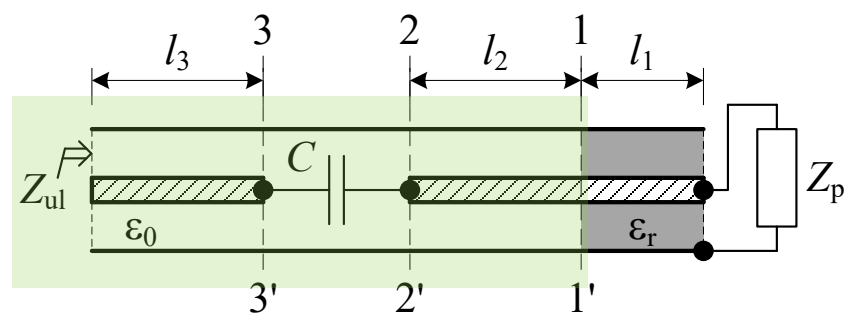
$$n_{z22'}^{(0)} = 0,206$$

$$n_{z11'}^{(0)} = n_{z22'}^{(0)} + \frac{l_2}{\lambda_0} = 0,457$$

$$z_{11'}^{(0)} = 0,12 + j0,27$$



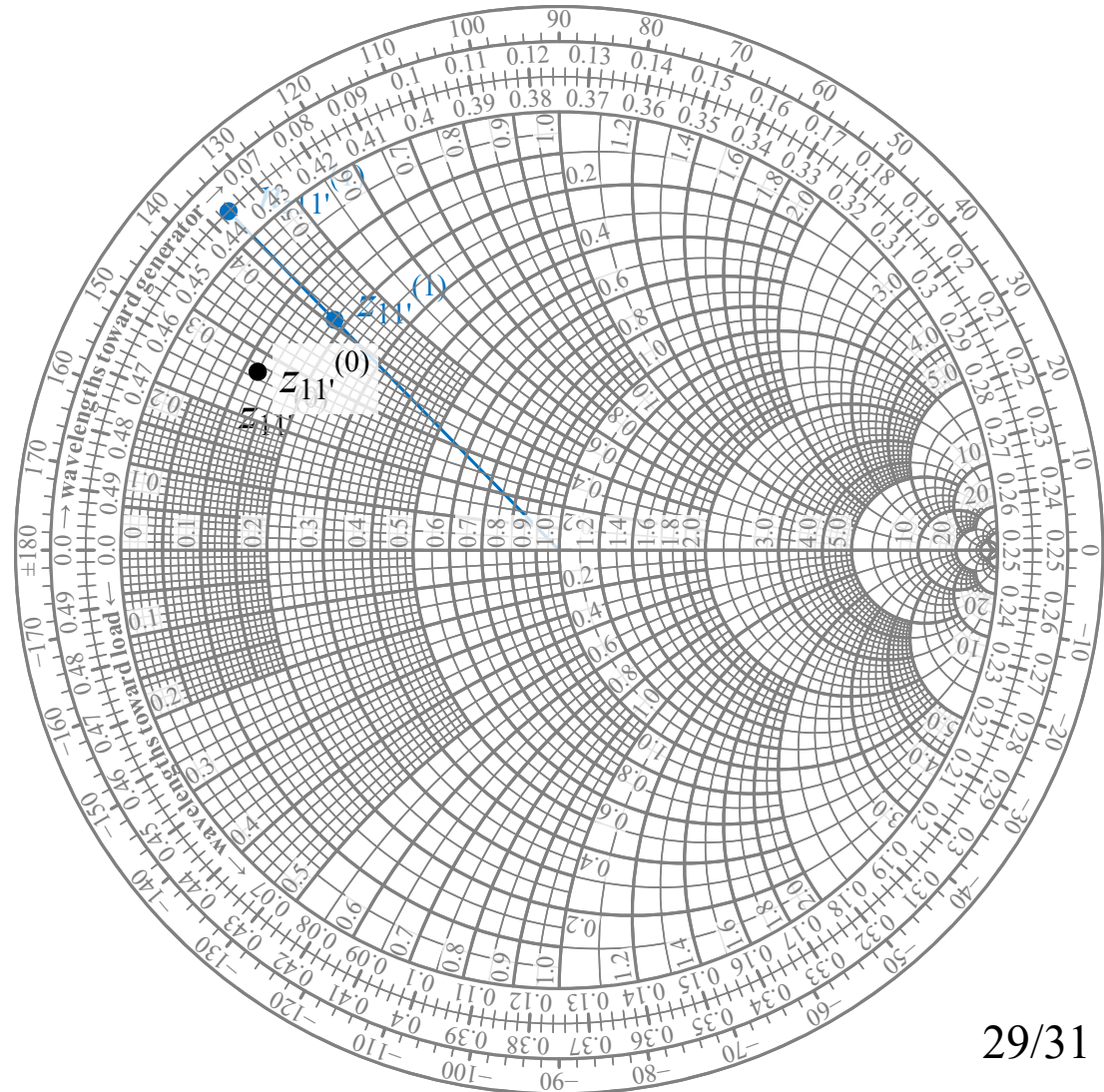
3.47



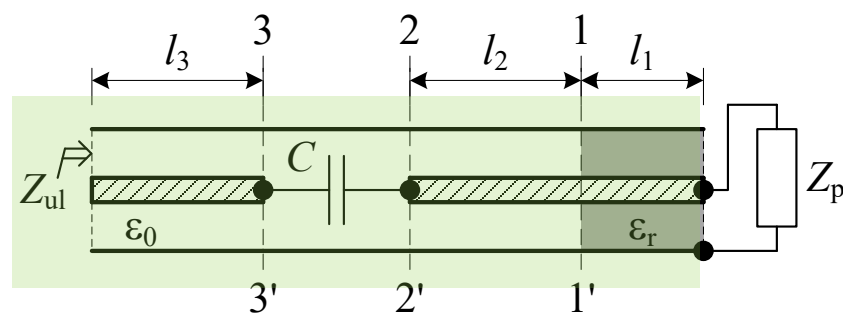
$$\underline{z}_{11'}^{(0)} = 0,12 + j0,27$$

$$\underline{z}_{11'}^{(1)} = \underline{z}_{11'}^{(0)} \frac{Z_c^{(0)}}{Z_c^{(1)}} = 0,18 + j0,41$$

$$n_{z_{11'}}^{(1)} = 0,436$$



3.47

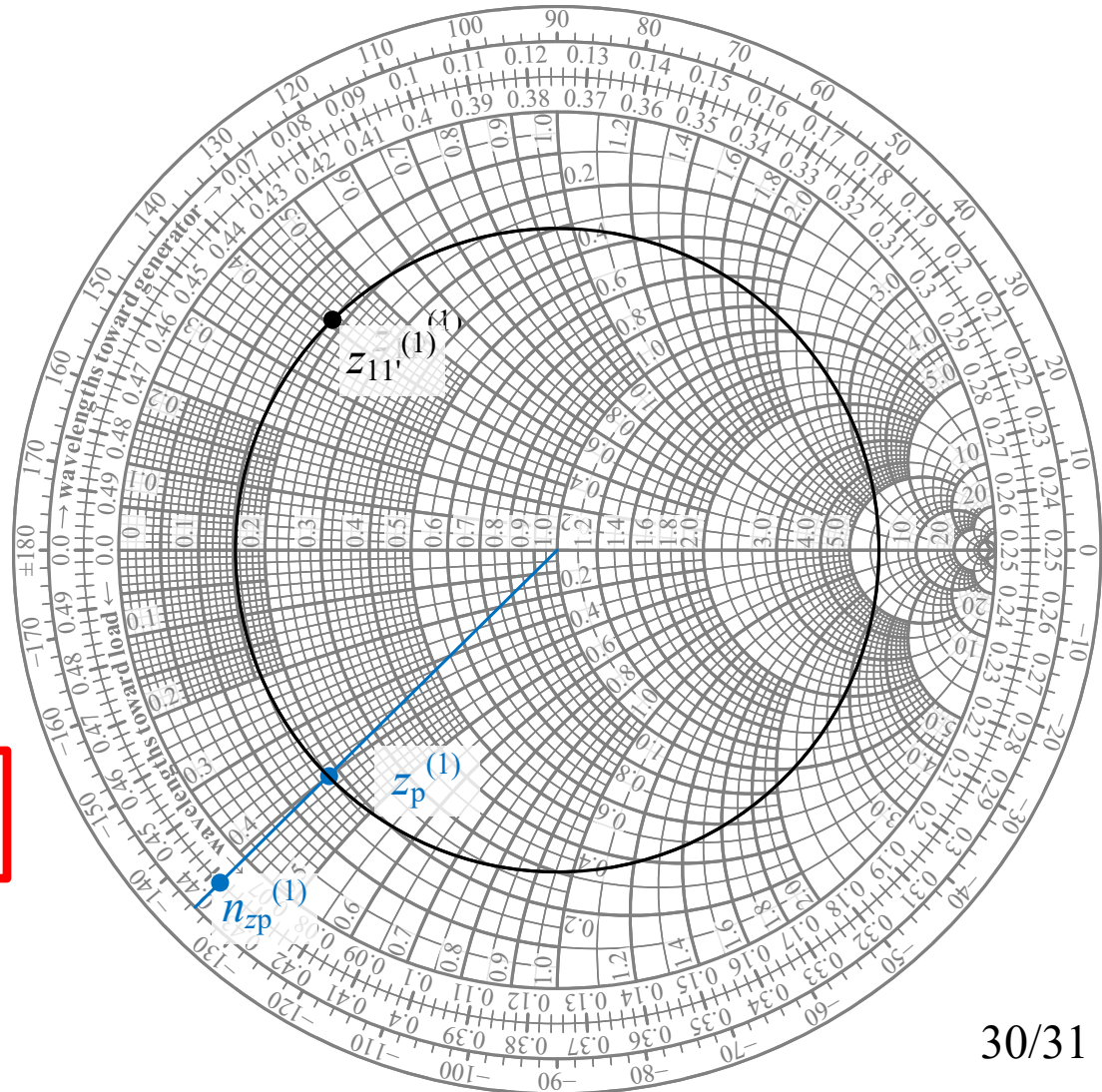


$$n_{z_{11'}}^{(1)} = 0,436$$

$$n_{z_p}^{(1)} = n_{z_{11'}}^{(1)} + \frac{l_1}{\lambda_g} = 0,062$$

$$\underline{z}_p^{(1)} = 0,18 - j0,4$$

$$\underline{Z}_p = \underline{z}_p^{(1)} Z_c^{(1)} = \boxed{(6 - j13,33) \Omega}$$



3.47

