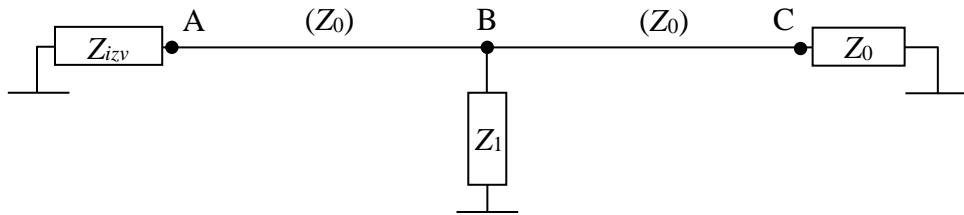


## 4.4. Refleksije na bakarnim provodnicima

**Zadatak 1.** Vod bez gubitaka, dužine 4 km, karakteristične impedanse  $600 \Omega$ , zatvoren je impedansom od  $600 \Omega$  i na sredini ima kratku odvodnu liniju impedanse  $300 \Omega$ . Kroz liniju je propušten usamljen naponski impuls amplitude 15 V, trajanja  $1 \mu\text{s}$ . Nacrtati lattice dijagram radi ilustracije prostiranja impulsa kroz vod. Prepostaviti brzinu prostiranja impulsa kroz provodnik od  $200.000 \text{ km/s}$  i impedansu izvora od  $300 \Omega$ . Ponoviti postupak za slučaj da je pobuda odskočna (Hevisajdova) funkcija amplitude 15 V.

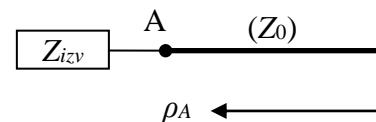
### Rešenje

Šema voda prikazana je na slici 1.1.



Slika 1.1. Šematski prikaz voda sa kratkim odvodom

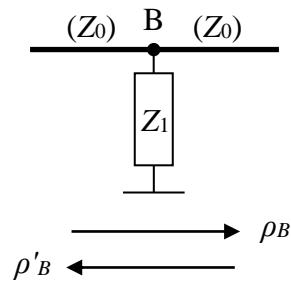
Koeficijenti razdeljivanja i refleksije u tački A su



$$k_A = \frac{Z_0}{Z_0 + Z_{izv}} = \frac{600 \Omega}{600 \Omega + 300 \Omega} = \frac{2}{3} \quad (1.1)$$

$$\rho_A = \frac{Z_{izv} - Z_0}{Z_{izv} + Z_0} = \frac{300 \Omega - 600 \Omega}{300 \Omega + 600 \Omega} = -\frac{1}{3}$$

Koeficijenti refleksije u tački B iznose:



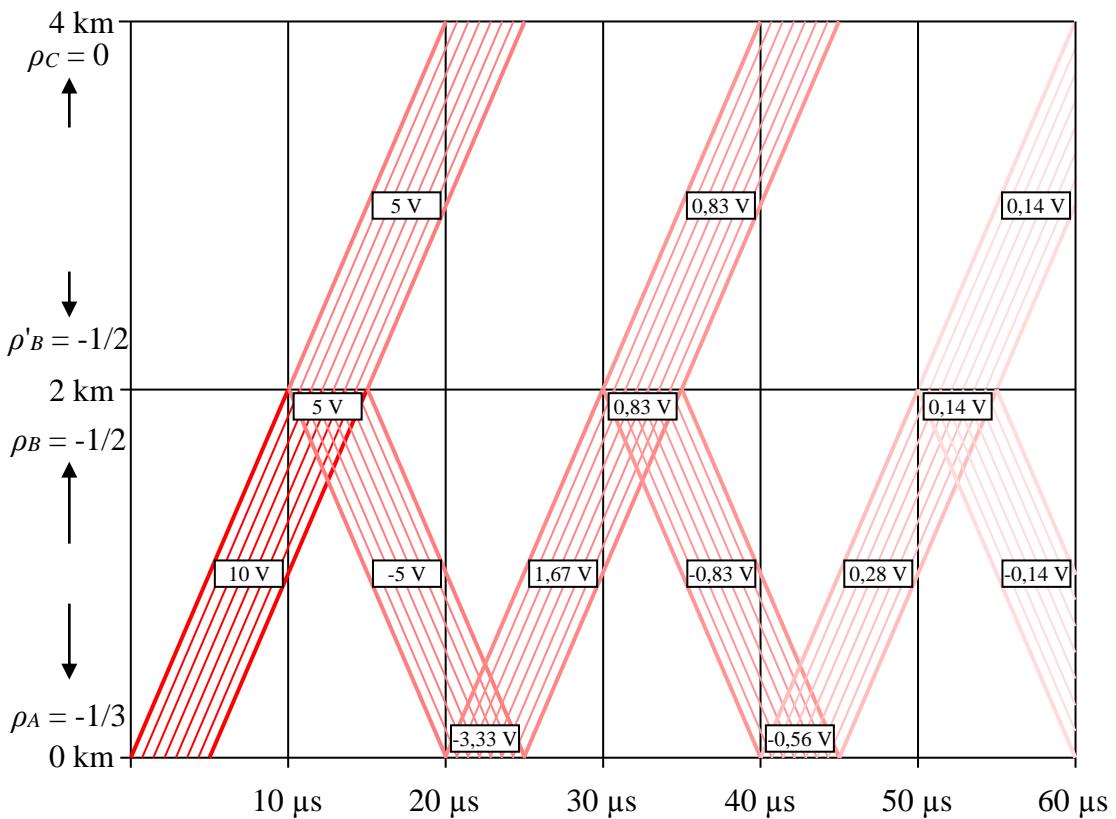
#### 4.4. Refleksije na bakarnim provodnicima

$$\rho_B = \rho'_B = \frac{Z_1 \parallel Z_0 - Z_0}{Z_1 \parallel Z_0 + Z_0} = \frac{200\Omega - 600\Omega}{200\Omega + 600\Omega} = -\frac{1}{2} \quad (1.2)$$

U tački C koeficijent refleksije je:

$$\rho_C = \frac{Z_0 - Z_0}{Z_0 + Z_0} = 0 \quad (1.3)$$

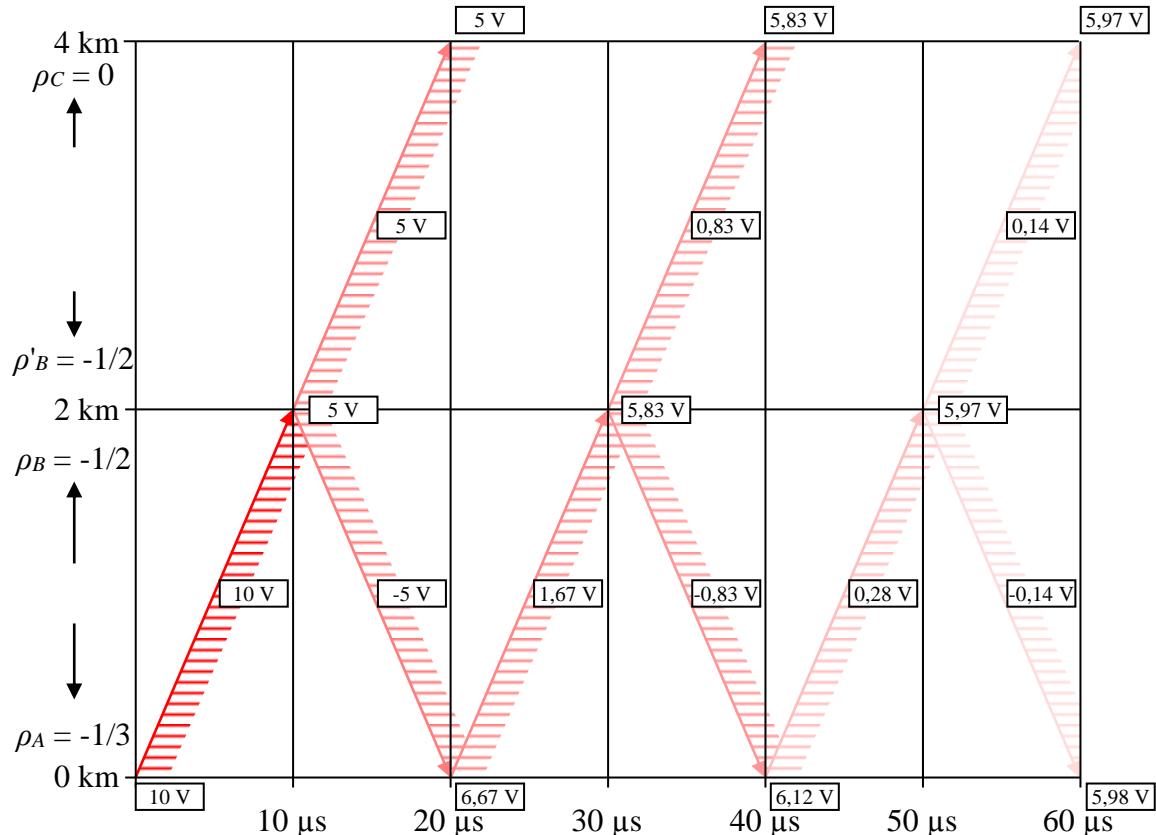
*Lattice* dijagram prikazan je na slici 1.2.



Slika 1.2. *Lattice* dijagram propagacije usamljenog pravougaonog impulsa kroz vod

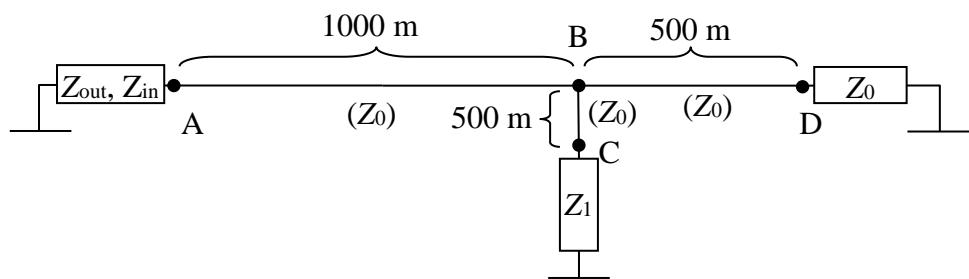
Na slici 1.3 prikazan je *lattice* dijagram prostiranja odskočne funkcije kroz ovaj isti vod.

#### 4.4. Refleksije na bakarnim provodnicima



Slika 1.3. Lattice dijagram propagacije Hevisjadovog signala kroz vod

**Zadatak 2.** Za vod bez gubitaka, prikazan na slici 2.1 odrediti refleksije u svim granama korišćenjem lattice dijagrama i nacrtati naponski signal na prijemu, u tački D. Nivo šuma u kanalu iznosi 100 mV, kašnjenje linije je 4  $\mu\text{s}/\text{km}$ , širina korišćenog impulsa je 1  $\mu\text{s}$ , a amplituda 15 V. Izlazna impedansa instrumenta iznosi  $50 \Omega$ , a ulazna  $100 \Omega$ . Karakteristična impedansa  $Z_0$  svih vodova iznosi  $100 \Omega$ , a odvod dužine 500 m zatvoren je impedansom od  $Z_1 = 1 \text{k}\Omega$ . Ponoviti postupak za slučaj da je pobuda odskočna funkcija amplitude 15 V.



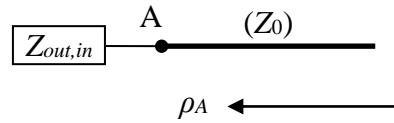
Slika 2.1. Vod bez gubitaka

#### Rešenje

Koeficijenti razdeljivanja i refleksije u tački A su

#### 4.4. Refleksije na bakarnim provodnicima

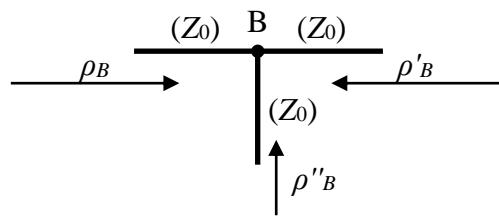
---



$$k_A = \frac{Z_0}{Z_0 + Z_{out}} = \frac{100\Omega}{100\Omega + 50\Omega} = \frac{2}{3}$$

$$\rho_A = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0} = \frac{100\Omega - 100\Omega}{100\Omega + 100\Omega} = 0$$
(2.1)

Koeficijenti refleksije u tački B iznose:



$$\rho_B = \rho'_B = \rho''_B = \frac{Z_0 \| Z_0 - Z_0}{Z_0 \| Z_0 + Z_0} = \frac{50\Omega - 100\Omega}{50\Omega + 100\Omega} = -\frac{1}{3}$$
(2.2)

U tački C koeficijent refleksije je:

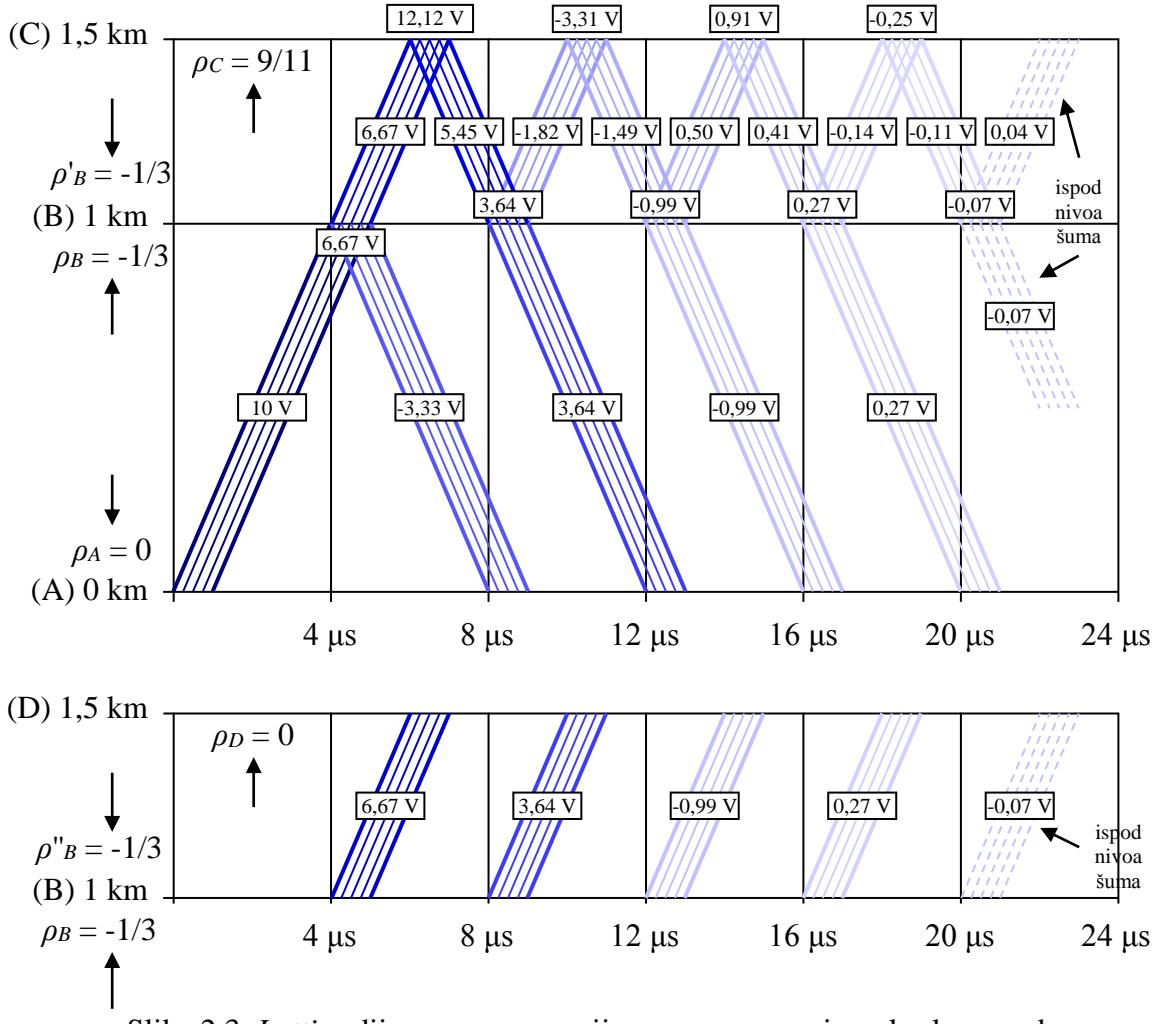
$$\rho_C = \frac{Z_1 - Z_0}{Z_1 + Z_0} = \frac{1\text{k}\Omega - 100\Omega}{1\text{k}\Omega + 100\Omega} = \frac{9}{11}$$
(2.3)

U tački D koeficijent refleksije je:

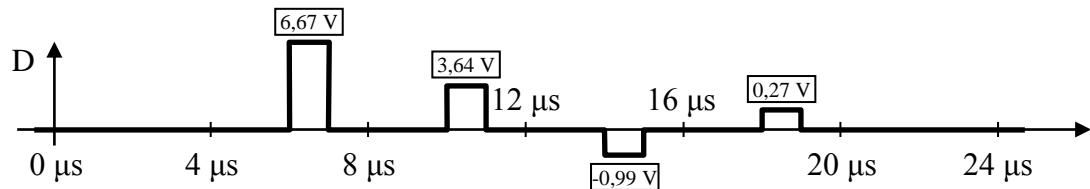
$$\rho_D = \frac{Z_0 - Z_0}{Z_0 + Z_0} = 0$$
(2.4)

*Lattice* dijagram propagacije signala kroz vod prikazan je na slici 2.3. Na osnovu *lattice* dijagrama sa slike 2.2, u tački D se dobija naponski signal prikazan na slici 2.3.

#### 4.4. Refleksije na bakarnim provodnicima



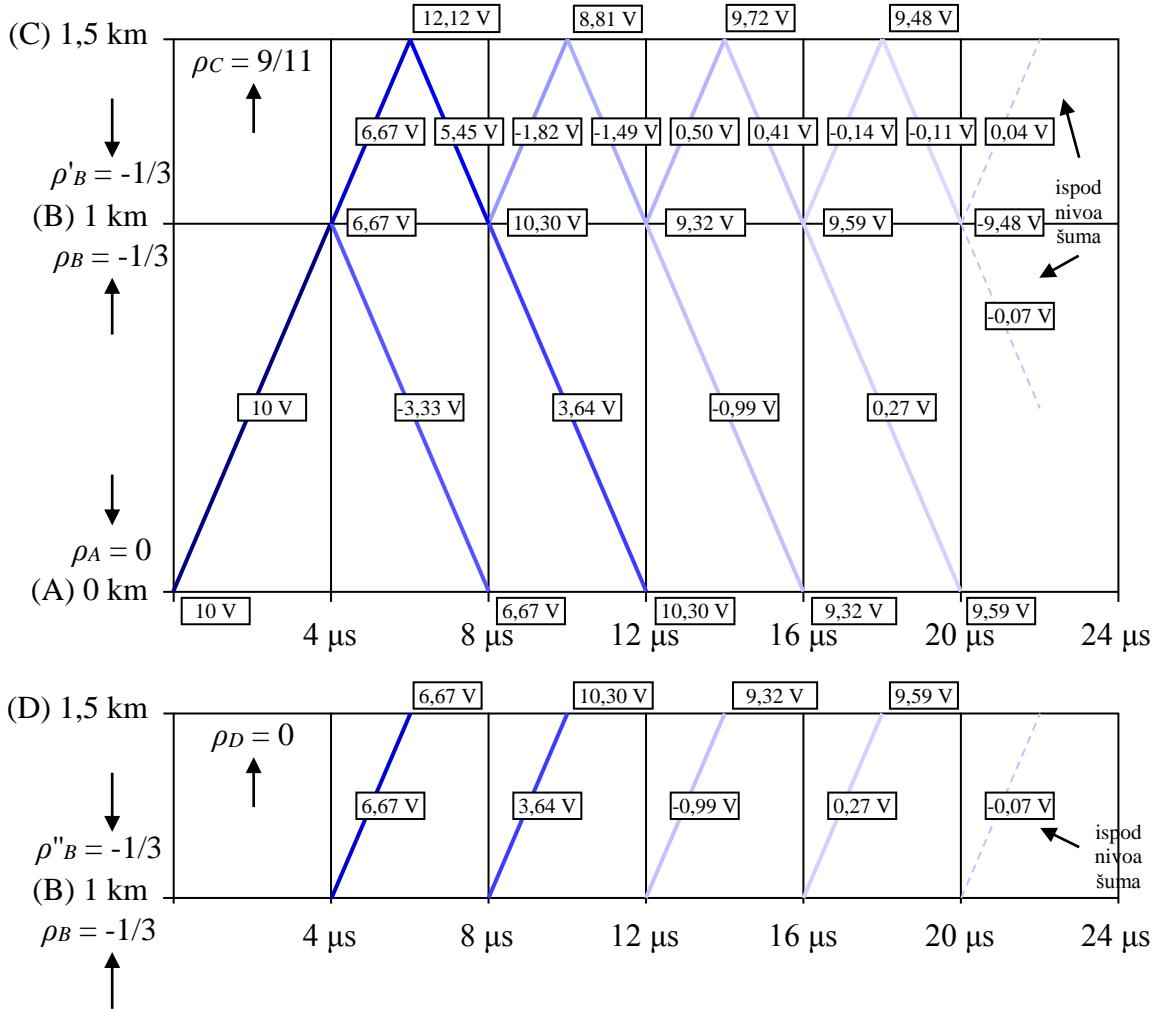
Slika 2.3. *Lattice* dijagram propagacije pravougaonog impulsa kroz vod



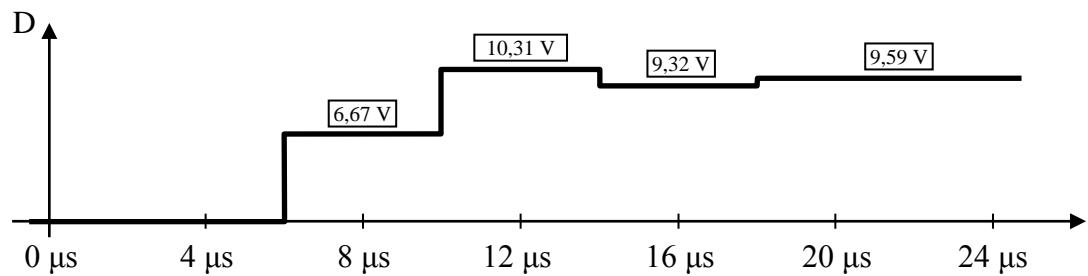
Slika 2.3. Naponski signal u tački D

Na slici 2.4 prikazan je *lattice* dijagram propagacije Hevisajdovog impulsa kroz vod, a na slici 2.5 odgovarajući izgled naponskog signala u tački D.

#### 4.4. Refleksije na bakarnim provodnicima



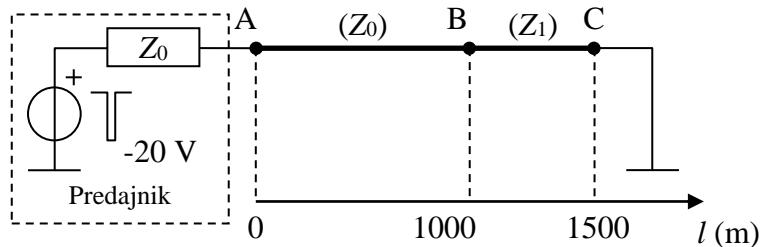
Slika 2.4. Lattice dijagram propagacije Hevisajdovog impulsa kroz vod



Slika 2.5. Naponski signal u tački D za slučaj odskočne pobude

#### 4.4. Refleksije na bakarnim provodnicima

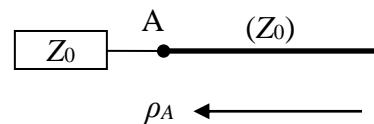
**Zadatak 3.** Na slici 3.1 prikazan je vod sa podužnim slabljenjem od  $\alpha = 3 \text{ dB/km}$  podeljen u dve sekcije različitih karakterističnih impedansi  $Z_0 = 120 \Omega$  i  $Z_1 = 100 \Omega$ . Ako je kašnjenje linije  $5 \mu\text{s}/\text{km}$ , a izvor emituje usamljeni impuls amplitude  $-20 \text{ V}$ , širine  $2 \mu\text{s}$ , odrediti refleksije u svim granama korišćenjem lattice dijagrama i nacrtati naponske signale u tačkama A, B i C. Nivo šuma u kanalu iznosi  $\pm 10 \text{ mV}$ .



Slika 3.1. Vod sa gubicima

#### Rešenje

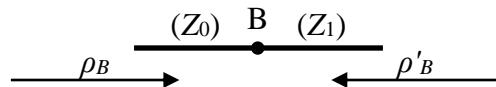
Koeficijenti razdeljivanja i refleksije u tački A su



$$k_A = \frac{Z_0}{Z_0 + Z_0} = \frac{120 \Omega}{120 \Omega + 120 \Omega} = \frac{1}{2} \quad (3.1)$$

$$\rho_A = \frac{Z_0 - Z_0}{Z_0 + Z_0} = \frac{120 \Omega - 120 \Omega}{120 \Omega + 120 \Omega} = 0$$

Koeficijenti refleksije u tački B iznose:



$$\rho_B = \frac{Z_1 - Z_0}{Z_1 + Z_0} = \frac{100 \Omega - 120 \Omega}{100 \Omega + 120 \Omega} = -\frac{1}{11} \quad (3.2)$$

$$\rho'_B = \frac{Z_0 - Z_1}{Z_0 + Z_1} = \frac{120 \Omega - 100 \Omega}{120 \Omega + 100 \Omega} = \frac{1}{11}$$

U tački C koeficijent refleksije je:

$$\rho_C = \frac{Z_{KS} - Z_1}{Z_{KS} + Z_1} = \frac{0 \Omega - 100 \Omega}{0 \Omega + 100 \Omega} = -1 \quad (3.3)$$

#### 4.4. Refleksije na bakarnim provodnicima

Podužno slabljenje linije dato je sa

$$\alpha = -10 \log \frac{P_{izl}}{P_{ul}} = -10 \log \frac{U_{izl}^2}{U_{ul}^2} = -20 \log \frac{U_{izl}}{U_{ul}} \quad (3.4)$$

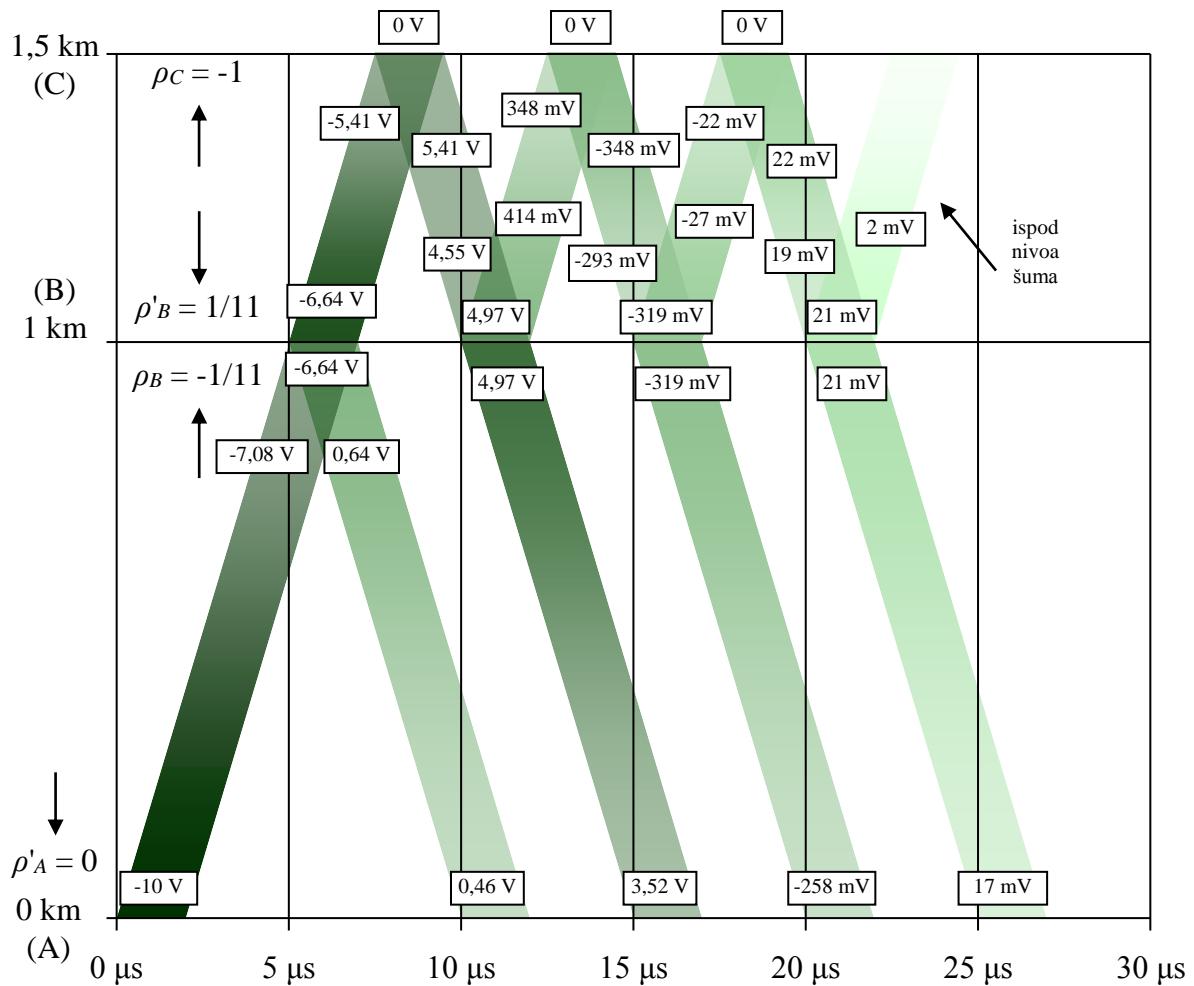
Za deonicu dužine 1 km, između tačaka A i B, apsolutno slabljenje naponskog signala biće

$$U_{izl} = U_{ul} \cdot 10^{-\frac{\alpha \cdot 1 \text{ km}}{20}} = 0,708 \cdot U_{ul} \quad (3.5)$$

Za deonicu dužine 500 m, između tačaka B i C, naponski signal će oslabiti za

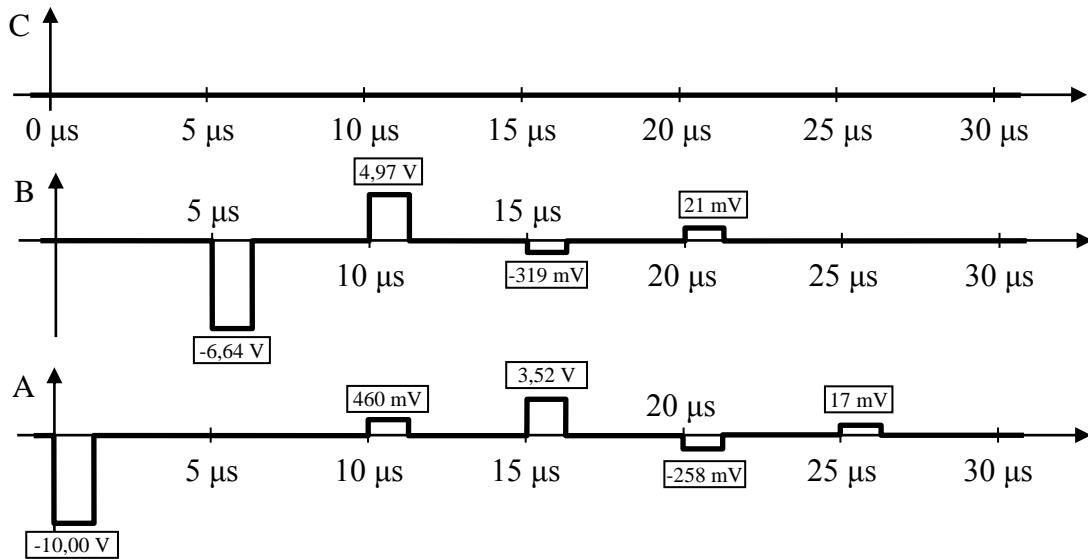
$$U_{izl} = U_{ul} \cdot 10^{-\frac{\alpha \cdot 0,5 \text{ km}}{20}} = 0,841 \cdot U_{ul} \quad (3.6)$$

Na osnovu izračunatih koeficijenata refleksije i slabljenja svake deonice dobija se *lattice* dijagram prikazan na slici 3.2 i naponski signali u tačkama A, B i C prikazani na slici 3.3.



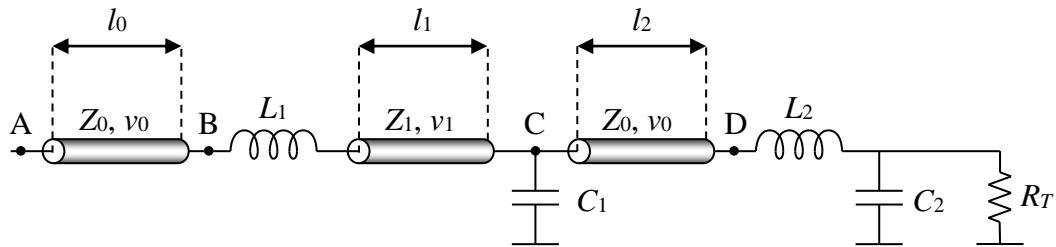
Slika 3.2. *Lattice* dijagram propagacije signala kroz vod

#### 4.4. Refleksije na bakarnim provodnicima



Slika 3.3. Naponski signali u tačkama A, B i C

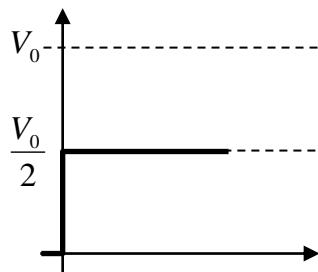
**Zadatak 4.** Za konfiguraciju voda sa slike 4.1 skicirati izgled ekrana TDR-a koji je priključen u tački A i čija je impedansa prilagođena prvoj sekciji voda. Brzine propagacije signala kroz pojedine segmente voda, kao i karakteristične impedanse ovih vodova date označeni su na slici 4.1. Važi da je  $Z_1 > Z_0$  i da je  $R_T < Z_0$ . Emitovani impuls je odskočna (Hevisajdova) funkcija amplitude  $V_0$ .



Slika 4.1. Vod koji se testira

#### Rešenje

S obzirom da je TDR prilagođen po impedansi sa prvim segmentom voda, na samom početku napon će biti razdeljen na polovinu amplitude koja se šalje.



Kada rastuće ivice ( $\omega \rightarrow \infty$ ) ovog napona najde na tačku B, induktivnost  $L_1$  se vidi kao beskonačna impedansa, pa se ka tački A počinje reflektovati značajan deo energije. Nakon

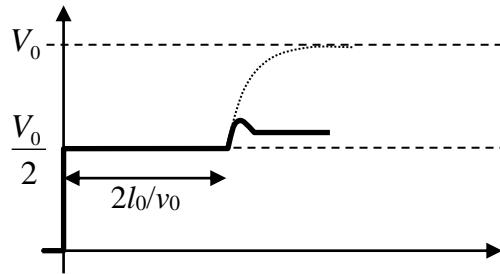
#### 4.4. Refleksije na bakarnim provodnicima

prolaska strme ivice i nailaska konstantnog nivoa ( $\omega = 0$ ), induktivnost  $L_1$  se vidi kao kratka vezu i ne utiče na refleksije. U asimptotskom stanju reflektovani signal biće istog znaka kao i incidentni jer je  $Z_1 > Z_0$ , pa je

$$\rho_B^{(\infty)} = \frac{Z_1 - Z_0}{Z_1 + Z_0} > 0 \quad (4.1)$$

Ovo će se, nakon vremena  $2l_0/v_0$  u tački A videti kao pozitivan priraštaj napona i skok na vrednost

$$V_A \left( 2 \frac{l_0}{v_0} \right) = \frac{V_0}{2} + \rho_B^{(\infty)} \frac{V_0}{2} \quad (4.2)$$

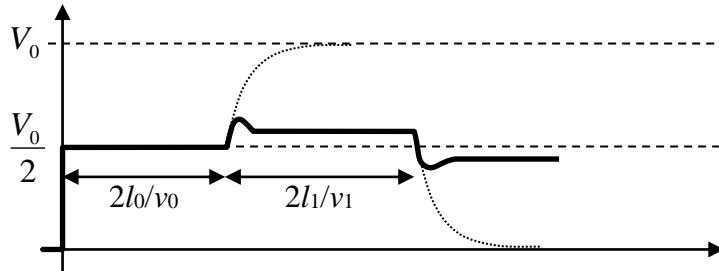


Ovaj isit napon propagiraće se dalje ka tački C. U tački C, prilikom nailaska brzorastuće ivice, dominira kapacitivnost  $C_1$  koja privremeno stvara kratku vezu, pa napon kratkotrajno krene opadati ka nuli. Međutim, posle nailaska konstantnog nivoa, nakon što se kondenzator napuni, uočava se samo refleksija napona suprotnog znaka od incidentnog, jer je  $Z_1 > Z_0$ , pa je

$$\rho_C^{(\infty)} = \frac{Z_0 - Z_1}{Z_0 + Z_1} < 0 \quad (4.3)$$

U tački A ova promena će se videti tek nakon  $2(l_0/v_0 + l_1/v_1)$ , ali će napon prethodno biti još jednom oslabljen prolaskom kroz tačku B u kojoj, u suprotnom smeru, ponovo postoji negativna refleksija. Napon u tački A biće, dakle,

$$V_A \left( 2 \frac{l_0}{v_0} + 2 \frac{l_1}{v_1} \right) = \frac{V_0}{2} + \rho_B^{(\infty)} \frac{V_0}{2} + \underbrace{\left( 1 + \rho_B^{(\infty)} \right) \frac{V_0}{2}}_{\text{incidentni impuls u tacki C}} \underbrace{\rho_C^{(\infty)} \left( 1 + \rho_B^{(\infty)} \right)}_{\text{uticaj ponovne refleksije u tacki B}} \quad (4.4)$$



U tački D nalazi se kompleksna impedansa koja će se pri nailasku videti kao otvorena veza zbor induktivnosti  $L_2$ , što će uzrokovati mali poskok u naponu. Nakon uspostavljanja

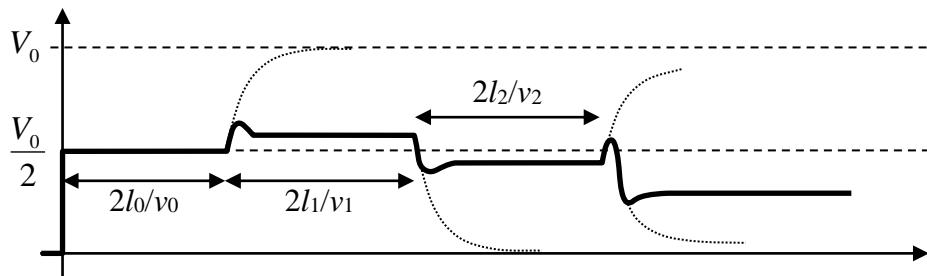
#### 4.4. Refleksije na bakarnim provodnicima

magnetskog polja u kalemu, videće se kratka veza kondenzatora prema masi, što će dodati jedan kratkotrajan propad. Nakon punjenja kondenzatora, od impedanse u tački D ostaće samo otpornost  $R_T$  koja je manja od  $Z_0$  pa će i asimptotski koeficijent refleksije biti negativan.

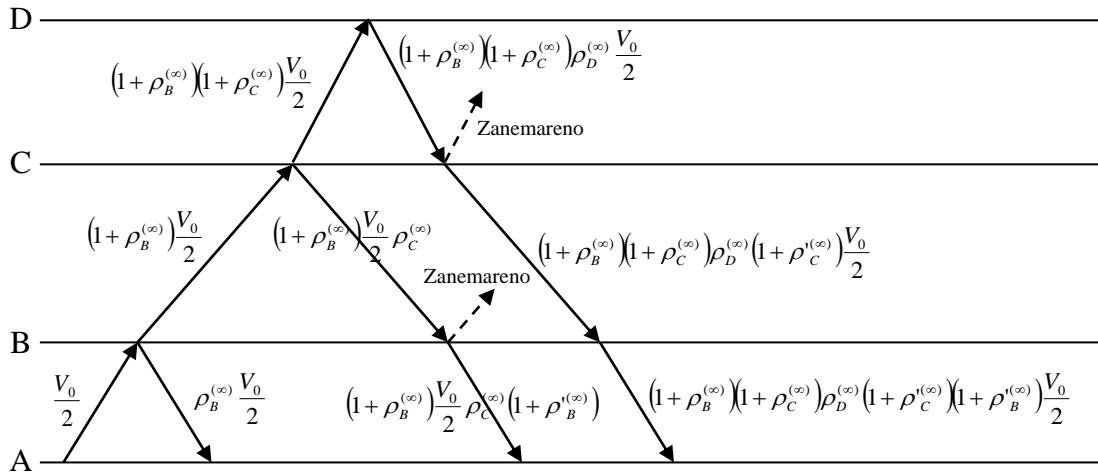
$$\rho_D^{(\infty)} = \frac{R_T - Z_0}{R_T + Z_0} < 0 \quad (4.5)$$

Nakon  $2(l_0/v_0 + l_1/v_1 + l_2/v_2)$  ove refleksije odraziće se na napon u tački A, ali tek nakon što prođu kroz tačke C i B, gde će ponovo biti reflektovane i izmenjene, pa će stvarna vrednost signala u tački A tada biti

$$V_A \left( 2 \frac{l_0}{v_0} + 2 \frac{l_1}{v_1} + 2 \frac{l_2}{v_2} \right) = \frac{V_0}{2} + \rho_B^{(\infty)} \frac{V_0}{2} + (1 + \rho_B^{(\infty)}) \frac{V_0}{2} \rho_C^{(\infty)} (1 + \rho_C^{(\infty)}) + \\ + (1 + \rho_B^{(\infty)}) (1 + \rho_C^{(\infty)}) \frac{V_0}{2} \underbrace{\rho_D^{(\infty)} (1 + \rho_C^{(\infty)}) (1 + \rho_B^{(\infty)})}_{\substack{\text{incidentni impuls u tački D} \\ \text{uticaj ponovne refleksije u tački C}}} + \underbrace{(1 + \rho_B^{(\infty)}) (1 + \rho_C^{(\infty)})}_{\text{uticaj ponovne refleksije u tački B}} \quad (4.6)$$



Na slici 4.2 prikazan je lattice dijagram koji ilustruje propagaciju impulsa kroz vod, pri čemu su posmatrana samo asimptotska stanja u tačkama nelinearnosti.

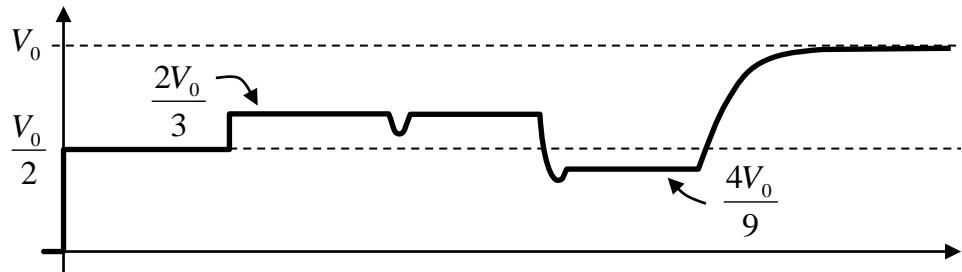


Slika 4.2. Propagacija oskočne funkcije i njenih refleksija kroz vod sa slike 4.1.

**Napomena:** Prilikom rešavanja ovog zadatka zanemarene su višestruke refleksije zbog nepoznavanja konkretnih kašnjenja svake od deonica, mada je izvesno da će se i one javiti.

#### 4.4. Refleksije na bakarnim provodnicima

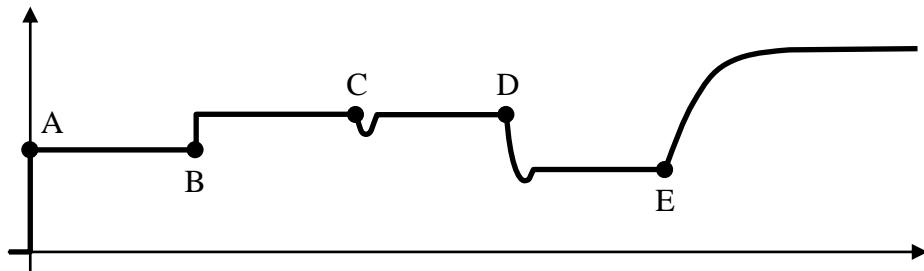
**Zadatak 5.** Za krivu povratnog rasejanja prikazanu na slici 5.1, koja je dobijena na TDR-u izlazne impedanse  $50 \Omega$ , nacrtati moguće konfiguracije voda. Koliko ima ovih konfiguracija? Incidentni impuls je Heavisajdova funkcija amplitude  $V_0$ .



Slika 5.1. Izgled krive na ekranu TDR-a

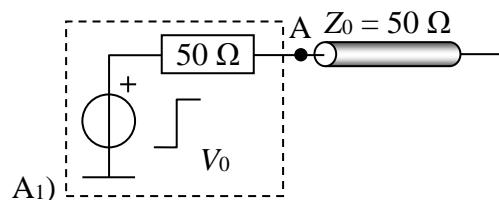
#### Rešenje

Svako mesto na dijagramu sa slike 5.1 u kojoj se detektuje promena napona, makar i privremena, nakon koje sledi duga ravna deonica predstavlja tačku u kojoj postoje nelinearnosti na vodu. Označimo ove tačke redom sa A, B, C itd. kao na slici 5.2.



Slika 5.2. Prepoznavanje tačaka na vodu u kojima se javljaju nelinearnosti

U tački A javlja se razdeljivanje početnog napona na polovicu što znači da je TDR prilagođen po impedansi prvom segmentu voda. Ovo, takođe, znači da se u ovoj tački neće javiti višestruke refleksije signala koji budu dolazili nazad ka TDR-u.



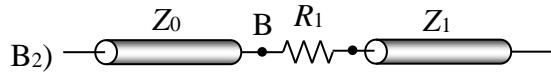
U tački B, s obzirom na pozitivan priraštajnapona moguće su dve situacije. U prvoj, povećanje impedanse koje u tački B "vidi" prvi segment može biti izazvano nastavljanjem na vod sa većom karakterističnom impedansom  $Z_1$ .



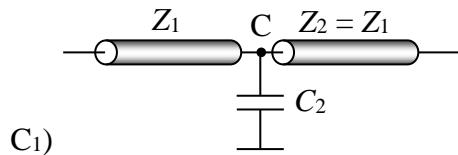
#### 4.4. Refleksije na bakarnim provodnicima

---

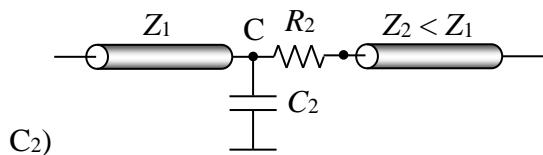
Druga mogućnost je da je pre nailaska novog segmenta voda, ubaćena redna otpornost, koja je u zbiru sa impedansom  $Z_1$ , veća od  $Z_0$ .



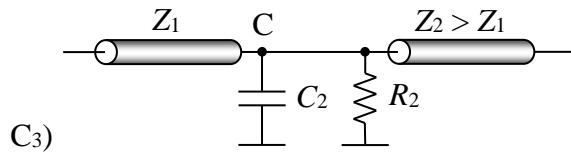
U tački C, postoji privremeni propad signala, što ukazuje na postojanje kapacitivnog izvoda prema masi. Nakon toga moguće su tri situacije. U prvoj vod se nastavlja drugim vodom sa impedansom  $Z_2 = Z_1$ .



U drugoj varijanti, narednom vodu prethodi redna otpornost, ali takva da je  $R_2 + Z_2 = Z_1$ .

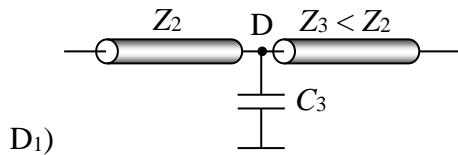


U trećoj varijanti, vodu prethodi paralelna otpornost, ali takva da je  $R_2 \parallel Z_2 = Z_1$ .

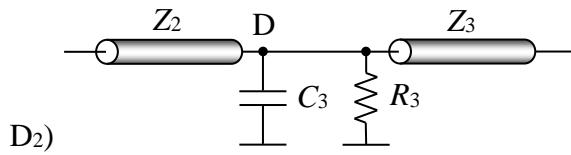


Drugi i treći slučaj su veoma malo verovatni, s obzirom na veoma strogu jednakost koja bi tada morala važiti.

U tački D, ponovni propad ukazuje na još jedan kapacitivni odvod ka masi. Kako je u tački A zabeležen negativni priraštaj napona u ovoj tački je koeficijent refleksije manji od nule, pa je karakteristična impedansa  $Z_3$  naredne deonice manja od  $Z_2$ . Takođe su moguća tri slučaja. U prvom slučaju nastavak je direkstan.

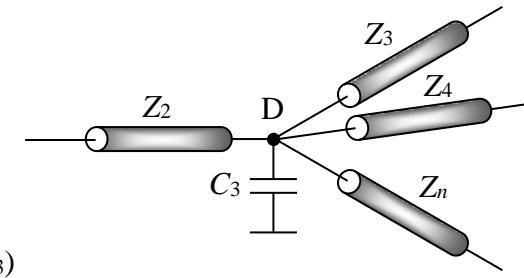


U drugom slučaju u tački D prisutna je i paralelna otpornost takva da je  $R_3 \parallel Z_3 < Z_2$ .

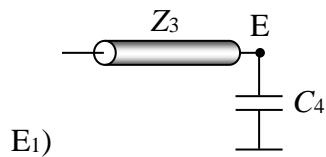


#### 4.4. Refleksije na bakarnim provodnicima

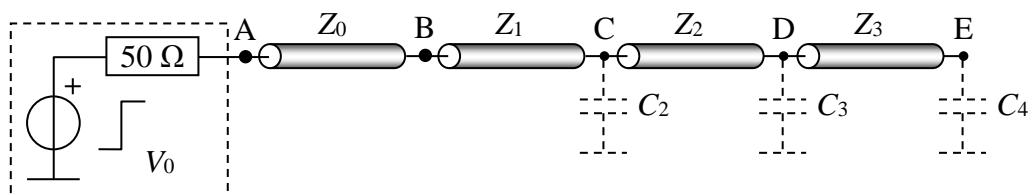
U trećem slučaju, u tački D postoji više odvodnih linija čija je paralelna veza manja od  $Z_2$ .



Na kraju, u tački E, prepoznaje se kapacitna terminacija voda, koja se, nakon punjenja vidi kao otvorena veza.



Ima, dakle, ukupno  $3 \times 2 = 6$  različitih veoma verovatnih konfiguracija voda i  $2 \times 3 \times 2 = 12$  veoma malo verovatnih konfiguracija. Da bi se izračunali koeficijenti refleksije u svakoj od tačaka i vrednosti karakterističnih impedansi svake deonice, neophodne je pretpostaviti neku konkretnu realizaciju voda. Ovde će to biti urađeno za najjednostavniji slučaj (A1 - B1 - C1 - D1 - E1), prikazan na slici 5.3. Za ostale slučajevе ove vrednosti bi se dobile na veoma sličan način. Na slici 5.3 prikazane su asimptotske vrednosti impedansi nakon prelaznih režima, na osnovu kojih je nacrtan lattice dijagram sa slike 5.4.



Slika 5.3. Najjednostavnija konfiguracija voda

U tački A duž *lattice* dijagrama može se postaviti niz jednačina

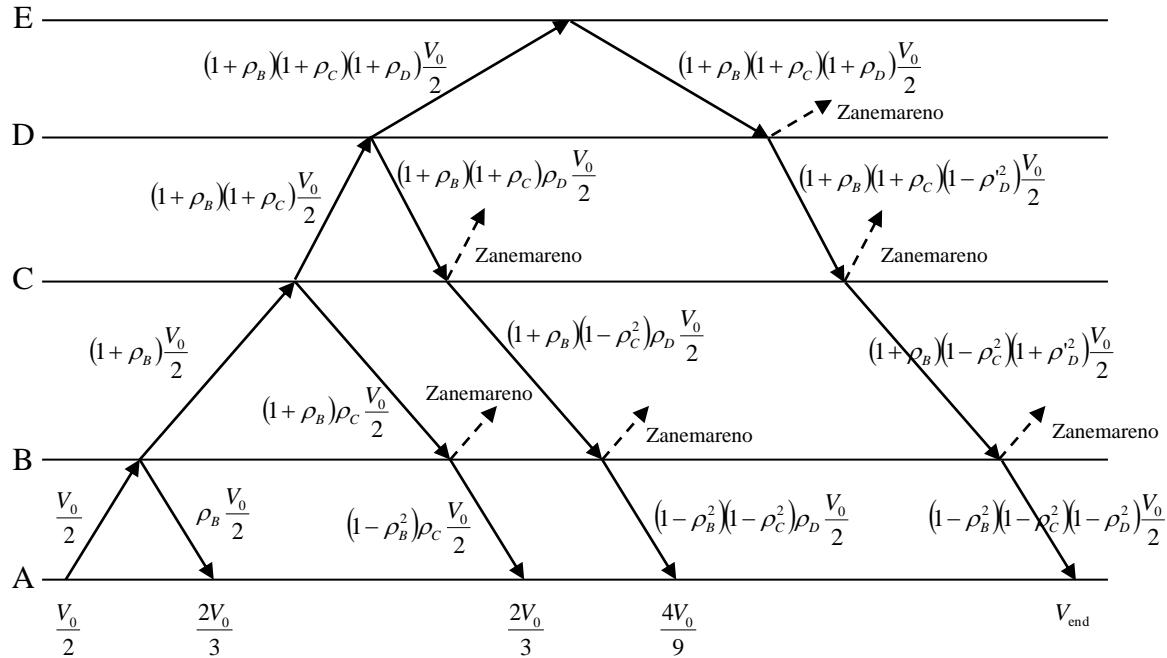
$$\frac{V_0}{2} + \rho_B \frac{V_0}{2} = \frac{2V_0}{3} \quad (5.1)$$

$$\frac{V_0}{2} + \rho_B \frac{V_0}{2} + (1 - \rho_B^2) \rho_C \frac{V_0}{2} = \frac{2V_0}{3} \quad (5.2)$$

$$\frac{V_0}{2} + \rho_B \frac{V_0}{2} + (1 - \rho_B^2) \rho_C \frac{V_0}{2} + (1 - \rho_B^2)(1 - \rho_C^2) \rho_D \frac{V_0}{2} = \frac{4V_0}{9} \quad (5.3)$$

$$\frac{V_0}{2} + \rho_B \frac{V_0}{2} + (1 - \rho_B^2) \rho_C \frac{V_0}{2} + 2 \cdot (1 - \rho_B^2)(1 - \rho_C^2) \rho_D \frac{V_0}{2} = V_{\text{end}} \quad (5.4)$$

#### 4.4. Refleksije na bakarnim provodnicima



Slika 5.4. Lattice dijagram za konfiguraciju voda sa slike 5.3.

Iz gornjeg sistema jednačina dobija se da su traženi koeficijenti refleksija i nepoznate karakterisitčne impedanse vodova

$$\rho_B = \frac{1}{3} \quad (5.5)$$

$$Z_1 = Z_0 \frac{1+\rho_B}{1-\rho_B} = 2Z_0 = 100 \Omega \quad (5.6)$$

$$\rho_C = 0 \quad (5.7)$$

$$Z_2 = Z_1 \frac{1+\rho_C}{1-\rho_C} = Z_1 = 100 \Omega \quad (5.8)$$

$$\rho_D = -\frac{1}{2} \quad (5.9)$$

$$Z_3 = Z_2 \frac{1+\rho_D}{1-\rho_D} = \frac{Z_2}{3} = 33 \Omega \quad (5.10)$$

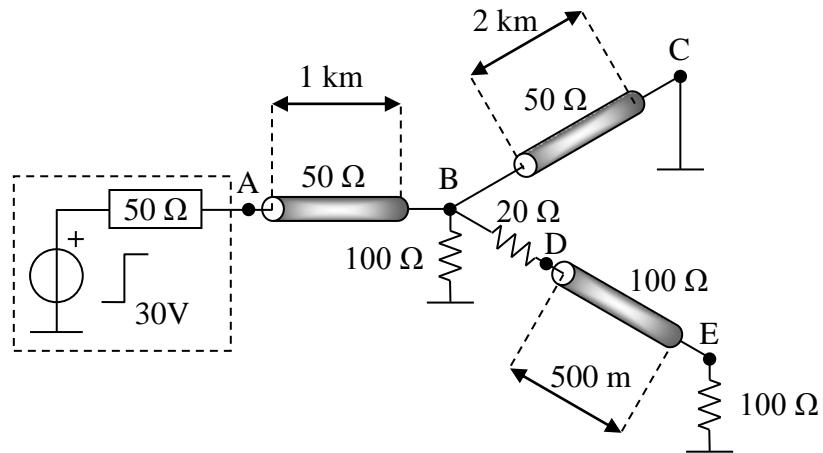
Na kraju se dobija da je završni nivo napona (uz zanemarene višestruke refleksije)

$$V_{\text{end}} = \frac{7V_0}{9} \quad (5.11)$$

Što znači da napon  $V_{\text{end}}$  neće doseći nivo  $V_0$ .

**Napomena:** Ponovo su zanemarene višestruke refleksije zbog nepoznavanja konkretnih kašnjenja svake od deonica, mada je i sada izvesno da će se one javiti.

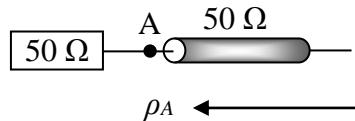
**Zadatak 6.** Za vod sa slike 6.1 odrediti koeficijente refleksije i transmisije u svim tačkama i nacrtati *lattice* dijagram propagacije singala kroz svaki od segmenata voda. Na osnovu nacrtanog *lattice* dijagrama skicirati izgled naponskih signala u tačkama A, B, D i E. Pobuda je odskočna funkcija amplitude 30 V. Dužine linija i vrednosti svih impedansi dati su na slici 6.1. Brzina propagacije signala kroz svaki od segmenata voda je ista i iznosi  $4,2 \mu\text{s}/\text{km}$ .



Slika 6.1. Vod sa više grana i rednim impedansama

### Rešenje

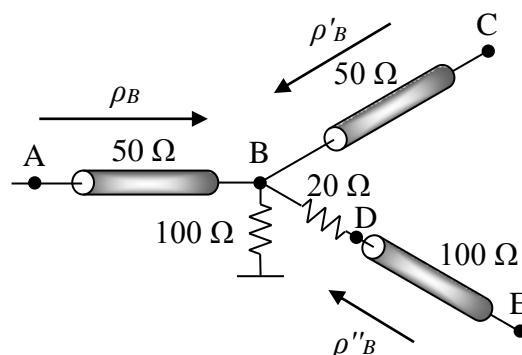
Koeficijenti razdeljivanja i refleksije u tački A su



$$k_A = \frac{50 \Omega}{50 \Omega + 50 \Omega} = \frac{1}{2}$$

$$\rho_A = \frac{50 \Omega - 50 \Omega}{50 \Omega + 50 \Omega} = 0 \quad (6.1)$$

Koeficijenti refleksije i transmisije u tački B, kada se nailazi iz tačke A iznose:



#### 4.4. Refleksije na bakarnim provodnicima

---

$A \rightarrow B \rightarrow A$ :

$$\rho_B = \frac{100\Omega \parallel 50\Omega \parallel (20\Omega + 100\Omega) - 50\Omega}{100\Omega \parallel 50\Omega \parallel (20\Omega + 100\Omega) + 50\Omega} = \frac{26,09\Omega - 50\Omega}{26,09\Omega + 50\Omega} = -\frac{11}{35} \quad (6.2)$$

$A \rightarrow B \rightarrow C$ :

$$\tau_{B \rightarrow C} = 1 + \rho_B = 1 - \frac{11}{35} = \frac{24}{35} \quad (6.3)$$

$A \rightarrow B, D \rightarrow E$ :

$$\tau_{D \rightarrow E} = \frac{100\Omega}{20\Omega + 100\Omega} (1 + \rho_B) = \frac{100}{120} \cdot \frac{24}{35} = \frac{4}{7} \quad (6.4)$$

Koeficijenti refleksije i transmisije u tački B, kada se nailazi iz tačke C iznose:

$C \rightarrow B \rightarrow C$ :

$$\rho'_B = \rho_B = -\frac{11}{35} \quad (6.5)$$

$C \rightarrow B \rightarrow A$ :

$$\tau'_{B \rightarrow A} = 1 + \rho'_B = 1 - \frac{11}{35} = \frac{24}{35} \quad (6.6)$$

$C \rightarrow B, D \rightarrow E$ :

$$\tau'_{D \rightarrow E} = \frac{100\Omega}{20\Omega + 100\Omega} (1 + \rho_B) = \frac{100}{120} \cdot \frac{24}{35} = \frac{4}{7} \quad (6.7)$$

Koeficijent refleksije u tački D i koeficijenti transmisije u tački B, kada se nailazi iz tačke E iznose:

$E \rightarrow D \rightarrow E$ :

$$\rho''_B = \frac{(20\Omega + 100\Omega \parallel 50\Omega \parallel 50\Omega) - 100\Omega}{(20\Omega + 100\Omega \parallel 50\Omega \parallel 50\Omega) + 100\Omega} = \frac{40\Omega - 100\Omega}{40\Omega + 100\Omega} = -\frac{3}{7} \quad (6.8)$$

$E \rightarrow D, B \rightarrow A$ :

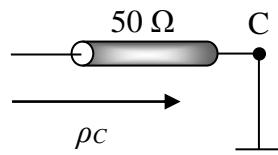
$$\tau''_{B \rightarrow A} = \frac{100\Omega \parallel 50\Omega \parallel 50\Omega}{20\Omega + 100\Omega \parallel 50\Omega \parallel 50\Omega} (1 + \rho''_B) = \frac{20\Omega}{20\Omega + 20\Omega} \left(1 - \frac{3}{7}\right) = \frac{2}{7} \quad (6.9)$$

$E \rightarrow D, B \rightarrow C$ :

$$\tau''_{B \rightarrow C} = \tau''_{B \rightarrow A} = \frac{2}{7} \quad (6.10)$$

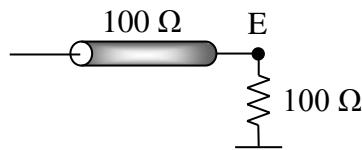
U tački C koeficijent refleksije je

#### 4.4. Refleksije na bakarnim provodnicima



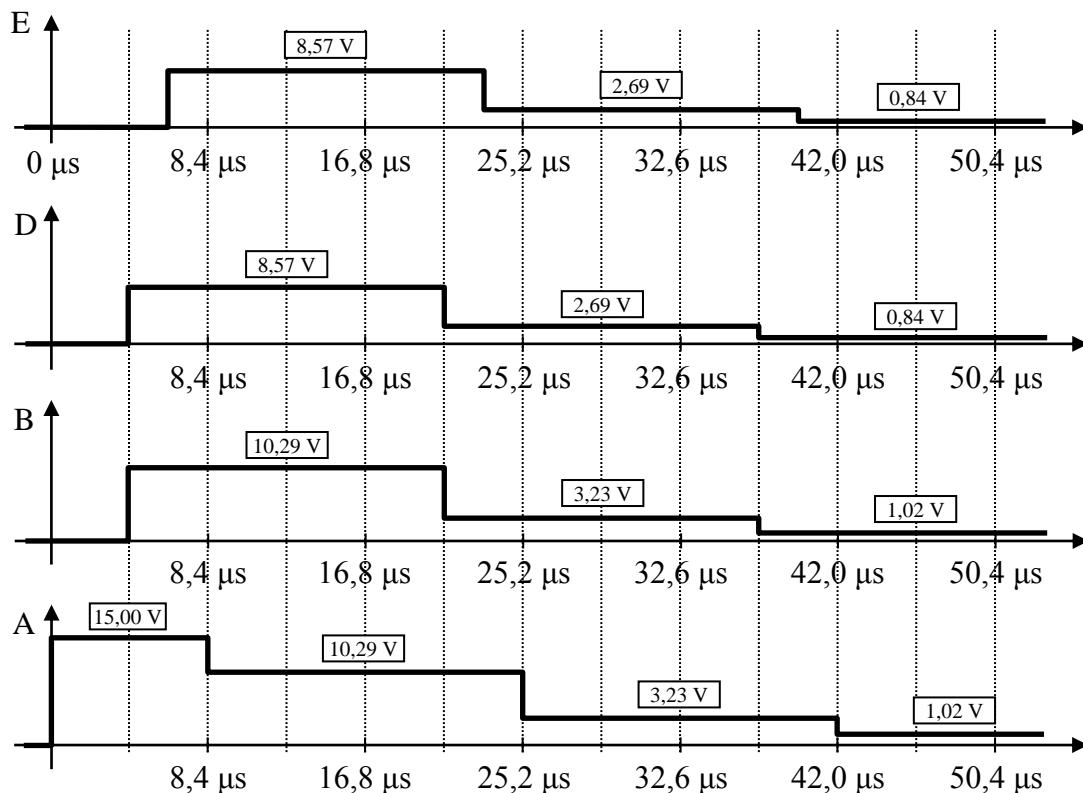
$$\rho_C = \frac{0\Omega - 50\Omega}{0\Omega + 50\Omega} = -1 \quad (6.11)$$

U tački E koeficijent refleksije iznosi



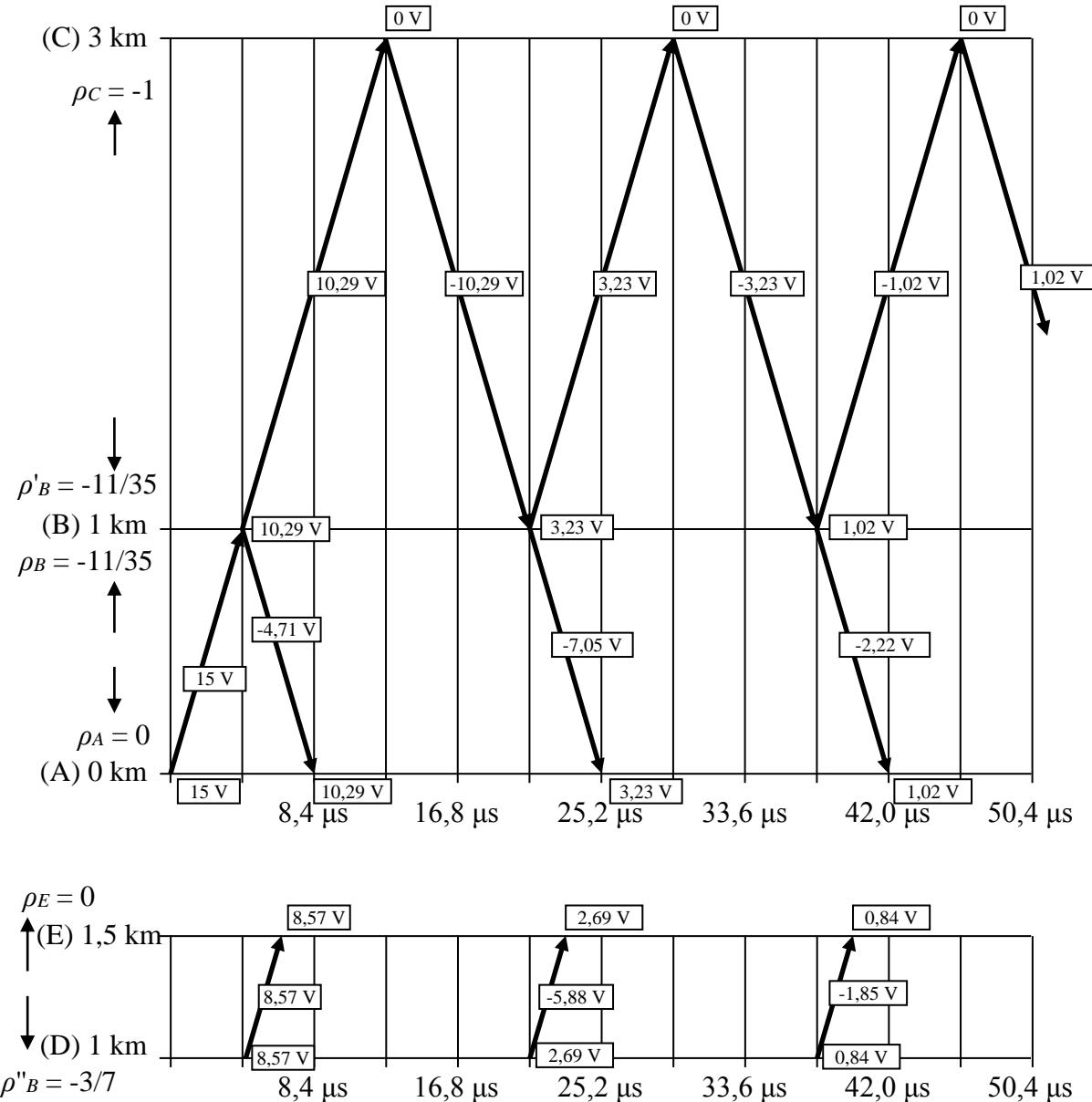
$$\rho_E = \frac{100\Omega - 100\Omega}{100\Omega + 100\Omega} = 0 \quad (6.12)$$

Na osnovu izračunatih koeficijenata refleksije i transmisije, dobija se lattice dijagram kao na slici 6.3. Izgled signala u tačkama A, B, D i E prikazan je na slici 6.2.



Slika 6.2. Oblici signala u tačkama A, B, D i E

#### 4.4. Refleksije na bakarnim provodnicima



Slika 6.3. Lattice dijagram propagacije signala kroz vod