

Tápvonalak a gyakorlatban

Baráth László
Károlyi Mihály

November 3, 2025

Tápvonalak a gyakorlatban

Baráth László
Károlyi Mihály

November 3, 2025

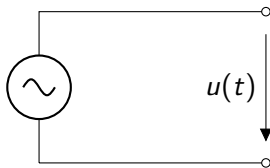
FIGYELMEZTETÉS! Az előadásban szereplő anyag csak a mélyebb megértést és az intuíció kialakítást szolgálja, vizsgában erre hivatkozni ugyan olyan módon veszélyes, mintha az EVT-n tanulnál forrasztani

0 - mi is az a lezárás?

Demó - négyyszögjel mérése

Mérjük meg egy négyyszögjel amplitúdóját!

- ▶ Függvénygenerátor maximum kimeitemizenetre állítva
Amplitude Range: 10Vpp
- ▶ oszcilloszkóp
- ▶ BNC-BNC kábel

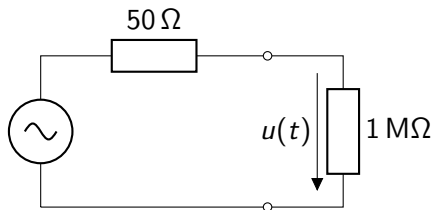


0 - mi is az a lezárás?

Demó - négyszögjel mérése

Mérjük meg egy négyszögjel amplitúdóját!

- ▶ Függvénygenerátor maximum kimeitemizenetre állítva
Amplitude Range: 10Vpp (into 50Ω load)
- ▶ oszcilloszkóp
- ▶ BNC-BNC kábel

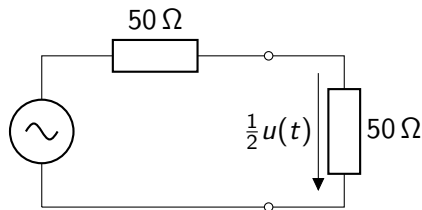
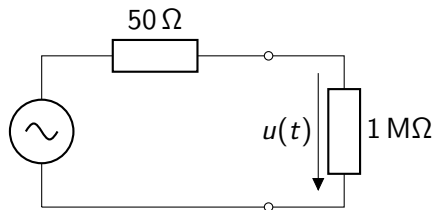


0 - mi is az a lezárás?

Demó - négyyszögjel mérése

Mérjük meg egy négyyszögjel amplitúdóját!

- ▶ Függvénygenerátor maximum kimeitemizenetre állítva
Amplitude Range: 10Vpp (into 50 Ω load)
- ▶ oszcilloszkóp
- ▶ BNC-BNC kábel

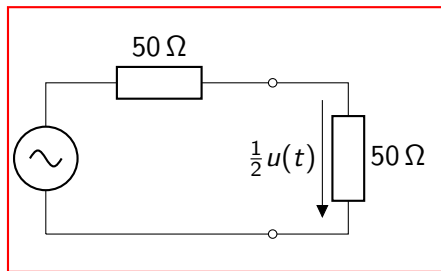
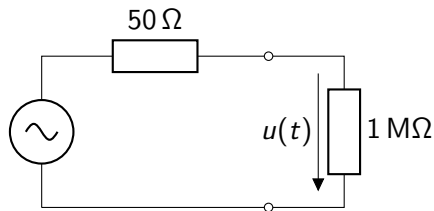


0 - mi is az a lezárás?

Demó - négyszögjel mérése

Mérjük meg egy négyszögjel amplitúdóját!

- ▶ Függvénygenerátor maximum kimeitemizenetre állítva
Amplitude Range: 10Vpp (into 50 Ω load)
- ▶ oszcilloszkóp
- ▶ BNC-BNC kábel

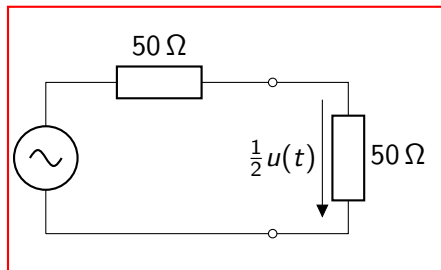
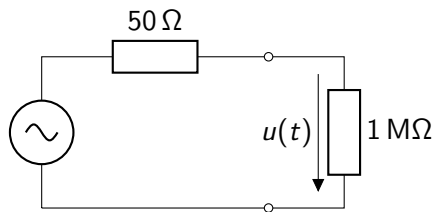


0 - mi is az a lezárás?

Demó - négyszögjel mérése

Mérjük meg egy négyszögjel amplitúdóját!

- ▶ Függvénygenerátor maximum kimeitemizenetre állítva
Amplitude Range: 10Vpp (into 50Ω load)
- ▶ oszcilloszkóp
- ▶ BNC-BNC kábel



Modernebb generátoron: high-Z beállítás

1 - felfutó él mérése

Összeállítás

- ▶ Generátor
- ▶ 2,5 m kábel
- ▶ T elosztó **CH1**-en
- ▶ 7,25 m kábel
- ▶ T elosztó **CH2**-en
- ▶ 8,3 m kábel
- ▶ T elosztó **CH3**-en
- ▶ 4,9 m kábel
- ▶ T elosztó **CH4**-en
- ▶ 6,85 m kábel
- ▶ Lezárás ($50\ \Omega$)

1 - felfutó él mérése

Összeállítás

- ▶ Generátor
- ▶ 2,5 m kábel
- ▶ T elosztó **CH1**-en
- ▶ 7,25 m kábel
- ▶ T elosztó **CH2**-en
- ▶ 8,3 m kábel
- ▶ T elosztó **CH3**-en
- ▶ 4,9 m kábel
- ▶ T elosztó **CH4**-en
- ▶ 6,85 m kábel
- ▶ Lezárás (50 Ω)

Kábelek összhossza kb. 30 m.
Mérési tartományban kb. 20,5 m

1 - felfutó él mérése

Összeállítás

- ▶ Generátor
- ▶ 2,5 m kábel
- ▶ T elosztó **CH1**-en
- ▶ 7,25 m kábel
- ▶ T elosztó **CH2**-en
- ▶ 8,3 m kábel
- ▶ T elosztó **CH3**-en
- ▶ 4,9 m kábel
- ▶ T elosztó **CH4**-en
- ▶ 6,85 m kábel
- ▶ Lezárás ($50\ \Omega$)

Kábelek összhossza kb. 30 m.
Mérési tartományban kb. 20,5 m

**Semmilyen információ nem
terjedhet a fénysebességnél
gyorsabban!**

Fénysebesség: $\approx 3 \times 10^8\ \text{m s}^{-1}$

Késleltetés: $\approx 68\ \text{ns}$

1 - felfutó él mérése

Összeállítás

- ▶ Generátor
- ▶ 2,5 m kábel
- ▶ T elosztó **CH1**-en
- ▶ 7,25 m kábel
- ▶ T elosztó **CH2**-en
- ▶ 8,3 m kábel
- ▶ T elosztó **CH3**-en
- ▶ 4,9 m kábel
- ▶ T elosztó **CH4**-en
- ▶ 6,85 m kábel
- ▶ Lezárás ($50\ \Omega$)

Kábelek összhossza kb. 30 m.
Mérési tartományban kb. 20,5 m

Semmilyen információ nem terjedhet a fénysebességnél gyorsabban!

Fénysebesség: $\approx 3 \times 10^8\ \text{m s}^{-1}$

Késleltetés: $\approx 68\ \text{ns}$

Mért érték: 106 ns

$v/c = 64\ \%$

2 - szakadással lezárt kábel mérése

Elmélkedés

Mit látunk lezárás nélkül?

2 - szakadással lezárt kábel mérése

Elmélkedés

Mit látunk lezárás nélkül?

Mennyi idő kell, hogy a kábel eleje is tudja, hogy a kábel végén mi van?

2 - szakadással lezárt kábel mérése

Elmélkedés

Mit látunk lezárás nélkül?

Mennyi idő kell, hogy a kábel eleje is tudja, hogy a kábel végén mi van?

Az oda-vissza úthoz szükséges idő előtt nem láthatunk változást.

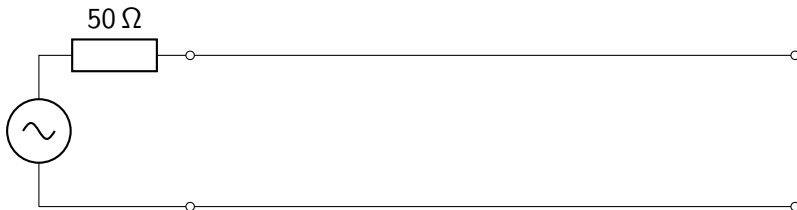
2 - szakadással lezárt kábel mérése

Elmélkedés

Mit látunk lezárás nélkül?

Mennyi idő kell, hogy a kábel eleje is tudja, hogy a kábel végén mi van?

Az oda-vissza úthoz szükséges idő előtt nem láthatunk változást.



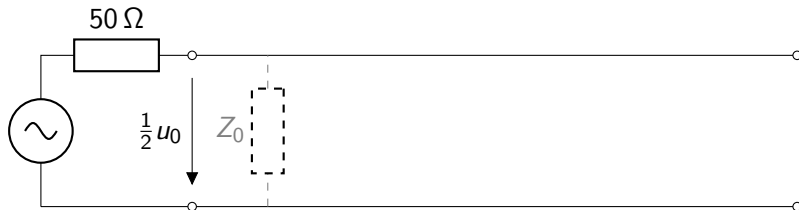
2 - szakadással lezárt kábel mérése

Elmélkedés

Mit látunk lezárás nélkül?

Mennyi idő kell, hogy a kábel eleje is tudja, hogy a kábel végén mi van?

Az oda-vissza úthoz szükséges idő előtt nem láthatunk változást.



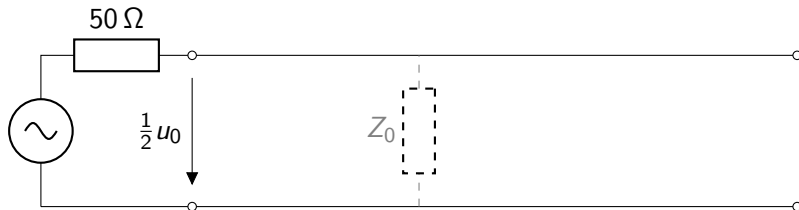
2 - szakadással lezárt kábel mérése

Elmélkedés

Mit látunk lezárás nélkül?

Mennyi idő kell, hogy a kábel eleje is tudja, hogy a kábel végén mi van?

Az oda-vissza úthoz szükséges idő előtt nem láthatunk változást.



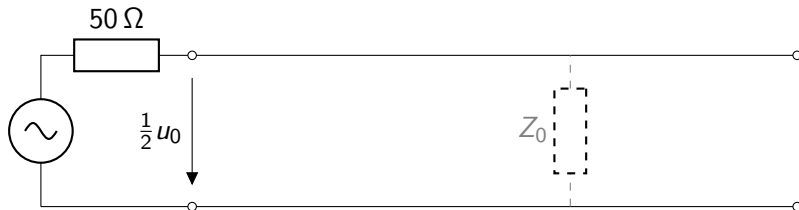
2 - szakadással lezárt kábel mérése

Elmélkedés

Mit látunk lezárás nélkül?

Mennyi idő kell, hogy a kábel eleje is tudja, hogy a kábel végén mi van?

Az oda-vissza úthoz szükséges idő előtt nem láthatunk változást.



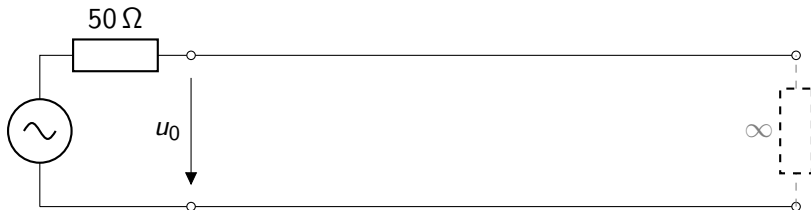
2 - szakadással lezárt kábel mérése

Elmélkedés

Mit látunk lezárás nélkül?

Mennyi idő kell, hogy a kábel eleje is tudja, hogy a kábel végén mi van?

Az oda-vissza úthoz szükséges idő előtt nem láthatunk változást.



2 - szakadással lezárt kábel mérése

Gondolkodjunk hullámokban!

2 - szakadással lezárt kábel mérése

Gondolkodjunk hullámokban!

Láttuk, hogy a felfutó él a fénysebesség kb $2/3$ -val haladt végig a kábelben.

2 - szakadással lezárt kábel mérése

Gondolkodjunk hullámokban!

Láttuk, hogy a felfutó él a fénysebesség kb $2/3$ -val haladt végig a kábelben.

Mi történik a kábel végén?

2 - szakadással lezárt kábel mérése

Gondolkodjunk hullámokban!

Láttuk, hogy a felfutó él a fénysebesség kb $2/3$ -val haladt végig a kábelben.

Mi történik a kábel végén?

Az hullámfront nem tud:

2 - szakadással lezárt kábel mérése

Gondolkodjunk hullámokban!

Láttuk, hogy a felfutó él a fénysebesség kb $2/3$ -val haladt végig a kábelben.

Mi történik a kábel végén?

Az hullámfront nem tud:

- ▶ továbbhaladni

2 - szakadással lezárt kábel mérése

Gondolkodjunk hullámokban!

Láttuk, hogy a felfutó él a fénysebesség kb $2/3$ -al haladt végig a kábelben.

Mi történik a kábel végén?

Az hullámfront nem tud:

- ▶ továbbhaladni
- ▶ elnyelődni (disszipálódni, hőteljesítménnyé alakulni)

2 - szakadással lezárt kábel mérése

Gondolkodjunk hullámokban!

Láttuk, hogy a felfutó él a fénysebesség kb $2/3$ -val haladt végig a kábelben.

Mi történik a kábel végén?

Az hullámfront nem tud:

- ▶ továbbhaladni
- ▶ elnyelődni (disszipálódni, hőteljesítménnyé alakulni)

A hullámfront visszafordul a generátor felé!

2 - szakadással lezárt kábel mérése

Gondolkodjunk hullámokban!

Láttuk, hogy a felfutó él a fénysebesség kb $2/3$ -val haladt végig a kábelben.

Mi történik a kábel végén?

Az hullámfront nem tud:

- ▶ továbbhaladni
- ▶ elnyelődni (disszipálódni, hőteljesítménnyé alakulni)

A hullámfront visszafordul a generátor felé!

A megduplázódott feszültség a két irányba haladó hullámfront összege.

2 - szakadással lezárt kábel mérése

Gondolkodjunk hullámokban!

Láttuk, hogy a felfutó él a fénysebesség kb $2/3$ -val haladt végig a kábelben.

Mi történik a kábel végén?

Az hullámfront nem tud:

- ▶ továbbhaladni
- ▶ elnyelődni (disszipálódni, hőteljesítménnyé alakulni)

A hullámfront visszafordul a generátor felé!

A megduplázódott feszültség a két irányba haladó hullámfront összege.

A generátor felőli oldalon a kábel jól van lezárva, a második hullámfront a generátoron és annak belső ellenállásán tűnik el.

2 - szakadással lezárt kábel mérése

Gondolkodjunk hullámokban!

Láttuk, hogy a felfutó él a fénysebesség kb $2/3$ -val haladt végig a kábelben.

Mi történik a kábel végén?

Az hullámfront nem tud:

- ▶ továbbhaladni
- ▶ elnyelődni (disszipálódni, hőteljesítménnyé alakulni)

A hullámfront visszafordul a generátor felé!

A megduplázódott feszültség a két irányba haladó hullámfront összege.

A generátor felőli oldalon a kábel jól van lezárva, a második hullámfront a generátoron és annak belső ellenállásán tűnik el. (A hullám “észre se veszi” az átmenetet a kábel és az $50\ \Omega$ -os ellenállás között)

2 - szakadással lezárt kábel mérése

Gondolkodjunk hullámokban!

Láttuk, hogy a felfutó él a fénysebesség kb $2/3$ -val haladt végig a kábelben.

Mi történik a kábel végén?

Az hullámfront nem tud:

- ▶ továbbhaladni
- ▶ elnyelődni (disszipálódni, hőteljesítménnyé alakulni)

A hullámfront visszafordul a generátor felé!

A megduplázódott feszültség a két irányba haladó hullámfront összege.

A generátor felőli oldalon a kábel jól van lezárva, a második hullámfront a generátoron és annak belső ellenállásán tűnik el. (A hullám “észre se veszi” az átmenetet a kábel és az $50\ \Omega$ -os ellenállás között)

Nézzük meg, mi történik a kábel többi pontján!

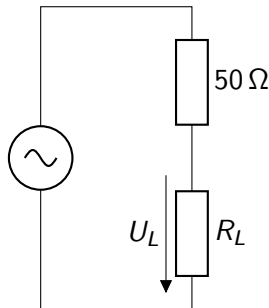
3 - rezisztíven lezárt kábel

Mi történik, ha a kábel végén se nem szakadás, se nem a helyes lezárás van? *Nézzük meg!*

3 - rezisztíven lezárt kábel

Mi történik, ha a kábel végén se nem szakadás, se nem a helyes lezárás van? *Nézzük meg!*

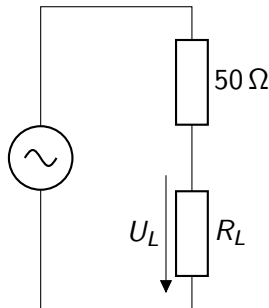
Magyarázat: a korábbi rezisztív osztós módon.



3 - rezisztíven lezárt kábel

Mi történik, ha a kábel végén se nem szakadás, se nem a helyes lezárás van? *Nézzük meg!*

Magyarázat: a korábbi rezisztív osztós módon.



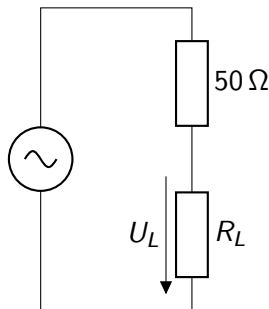
$$U_L = U_0 \frac{R_L}{R_L + Z_0}$$

$$R_L = Z_0 \frac{U_L}{U_0 - U_L}$$

3 - rezisztíven lezárt kábel

Mi történik, ha a kábel végén se nem szakadás, se nem a helyes lezárás van? *Nézzük meg!*

Magyarázat: a korábbi rezisztív osztós módon.



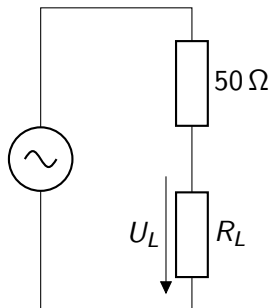
$$U_L = U_0 \frac{R_L}{R_L + Z_0}$$
$$R_L = Z_0 \frac{U_L}{U_0 - U_L}$$

A visszaverődő hullámfront amplitúdója és fázisa megváltozik a lezárástól függően.

3 - rezisztíven lezárt kábel

Mi történik, ha a kábel végén se nem szakadás, se nem a helyes lezárás van? *Nézzük meg!*

Magyarázat: a korábbi rezisztív osztós módon.



$$U_L = U_0 \frac{R_L}{R_L + Z_0}$$

$$R_L = Z_0 \frac{U_L}{U_0 - U_L}$$

A visszaverődő hullámfront amplitúdója és fázisa megváltozik a lezárástól függően.

(Rezisztív lezárás esetében a fázis 0° vagy 180° lehet. Az amplitúdó nonenergikus lezárás esetében változatlan, passzív lezárás esetében csökken)

3* Mindkét végén illesztetlen kábel

Az eddigi demonstrációkban mindig csak két hullámfront alakult ki, mert a generátor oldal is illesztve volt, róla már nem verődött vissza hullám.

3* Mindkét végén illesztetlen kábel

Az eddigi demonstrációkban mindig csak két hullámfront alakult ki, mert a generátor oldal is illesztve volt, róla már nem verődött vissza hullám.

Ez nincs minden esetben így, és ez a vezeték két vége között oda-vissza pattogó hullámokhoz vezethet. *DEMÓ*

3* Mindkét végén illesztetlen kábel

Az eddigi demonstrációkban mindig csak két hullámfront alakult ki, mert a generátor oldal is illesztve volt, róla már nem verődött vissza hullám.

Ez nincs minden esetben így, és ez a vezeték két vége között oda-vissza pattogó hullámokhoz vezethet. *DEMÓ*

Digitális jelek átvitele esetében ez is okozhatja a “ringing” jelenségét, ami a felfutó él túllövését, és az azt követő oszcillációt jelenti.

3* Mindkét végén illesztetlen kábel

Az eddigi demonstrációkban mindig csak két hullámfront alakult ki, mert a generátor oldal is illesztve volt, róla már nem verődött vissza hullám.

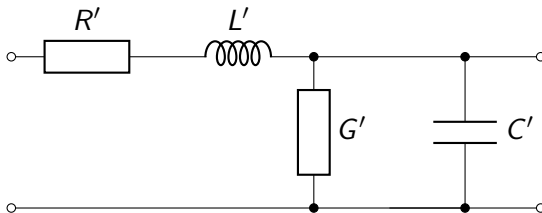
Ez nincs minden esetben így, és ez a vezeték két vége között oda-vissza pattogó hullámokhoz vezethet. *DEMÓ*

Digitális jelek átvitele esetében ez is okozhatja a “ringing” jelenségét, ami a felfutó él túllövését, és az azt követő oszcillációt jelenti.

A probléma megelőzhető, ha a vezeték *legalább egyik vége* a hullámimpedanciájának megfelelően van lezárva, és néha ezért elég csak az egyik oldalt megjavítani egy probléma megelőzésére.

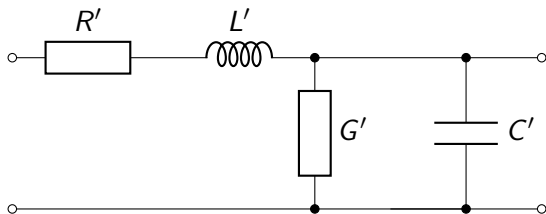
j1 - Elmélet átvisméltése - tápvonal modell, telegráfegyenlet

Előadáson volt: tápvonal elosztott paraméterű modellje és a telegráfegyenlet:



j1 - Elmélet átismétlése - tápvonal modell, telegráfegyenlet

Előadáson volt: tápvonal elosztott paraméterű modellje és a telegráfegyenlet:



$$\begin{aligned}\frac{\partial}{\partial x} u(x, t) &= -L' \frac{\partial}{\partial t} i(x, t) - R' i(x, t) \\ \frac{\partial}{\partial x} i(x, t) &= -C' \frac{\partial}{\partial t} u(x, t) - G' u(x, t)\end{aligned}$$

j2 - Elmélet átismétlése - szinuszos megoldás

$$\frac{\partial}{\partial x} u^*(x) = - (j\omega L' + R') i^*(x)$$
$$\frac{\partial}{\partial x} i^*(x) = - (j\omega C' + G') u^*(x)$$

j2 - Elmélet átismétlése - szinuszos megoldás

$$\frac{\partial}{\partial x} u^*(x) = -(j\omega L' + R') i^*(x)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} i^*(x) = -(j\omega C' + G') u^*(x)$$

Megoldás:

$$u(x) = u^+ e^{-\gamma x} + u^- e^{\gamma l}$$

$$i(x) = \frac{u^+}{Z_0} e^{-\gamma x} - \frac{u^-}{Z_0} e^{\gamma l}$$

j2 - Elmélet átismétlése - szinuszos megoldás

$$\begin{aligned}\frac{\partial}{\partial x} u^*(x) &= -(j\omega L' + R') i^*(x) \\ \frac{\partial}{\partial x} i^*(x) &= -(j\omega C' + G') u^*(x)\end{aligned}$$

Megoldás:

$$\begin{aligned}u(x) &= u^+ e^{-\gamma x} + u^- e^{\gamma l} \\ i(x) &= \frac{u^+}{Z_0} e^{-\gamma x} - \frac{u^-}{Z_0} e^{\gamma l}\end{aligned}$$

Ahol:

- ▶ u^+ - előre haladó hullám fazora a referenciapontban
- ▶ u^- - visszafelé haladó hullám fazora a referenciapontban
- ▶ l távolság a referenciaponttól
- ▶ $\gamma = \sqrt{(j\omega L' + R')(j\omega C' + G')} = \alpha + j\beta$ terjedési együttható
- ▶ $Z_0 = \sqrt{\frac{j\omega L' + R'}{j\omega C' + G'}} \approx \sqrt{\frac{L'}{C'}}$ hullámimpedancia

j2 - Elmélet átismétlése - reflexiós tényező

Ha a vizsgált elrendezés adott, az rögzíti a távvezetéken az u^-/u^+ arányt, ami a távvezetéken kialakuló reflexiós tényező Γ .

j2 - Elmélet átismétlése - reflexiós tényező

Ha a vizsgált elrendezés adott, az rögzíti a távvezetéken az u^-/u^+ arányt, ami a távvezetéken kialakuló reflexiós tényező Γ .

A reflexiós tényező komplex szám, nagysága megadja a visszavert hullám relatív amplitúdóját, fázisa annak relatív fázisát.

j2 - Elmélet átismétlése - reflexiós tényező

Ha a vizsgált elrendezés adott, az rögzíti a távvezetéken az u^-/u^+ arányt, ami a távvezetéken kialakuló reflexiós tényező Γ .

A reflexiós tényező komplex szám, nagysága megadja a visszavert hullám relatív amplitúdóját, fázisa annak relatív fázisát.

Mivel a két hullám fázisa a távvezeték mentén változik (ráadásul egymással szembe!), így a reflexiós tényező komplex fázisa is változik, pontosan kétszer olyan gyorsan. (bármilyen beiktatott távon kétszer kell átmennie a reflexió során a jelnek).

j2 - Elmélet átismétlése - reflexiós tényező

Ha a vizsgált elrendezés adott, az rögzíti a távvezetéken az u^-/u^+ arányt, ami a távvezetéken kialakuló reflexiós tényező Γ .

A reflexiós tényező komplex szám, nagysága megadja a visszavert hullám relatív amplitúdóját, fázisa annak relatív fázisát.

Mivel a két hullám fázisa a távvezeték mentén változik (ráadásul egymással szembe!), így a reflexiós tényező komplex fázisa is változik, pontosan kétszer olyan gyorsan. (bármilyen beiktatott távon kétszer kell átmennie a reflexió során a jelnek).

Mivel a reflexió általában kisebb, mint a beeső hullám, a reflexiós tényező a komplex síkon az egységkörön belül kell hogy elhelyezkedjen (a határvonalat is beleértve).

j2 - Elmélet átismétlése - reflexiós tényező

Ha a vizsgált elrendezés adott, az rögzíti a távvezetéken az u^-/u^+ arányt, ami a távvezetéken kialakuló reflexiós tényező Γ .

A reflexiós tényező komplex szám, nagysága megadja a visszavert hullám relatív amplitúdóját, fázisa annak relatív fázisát.

Mivel a két hullám fázisa a távvezeték mentén változik (ráadásul egymással szembe!), így a reflexiós tényező komplex fázisa is változik, pontosan kétszer olyan gyorsan. (bármilyen beiktatott távon kétszer kell átmennie a reflexió során a jelnek).

Mivel a reflexió általában kisebb, mint a beeső hullám, a reflexiós tényező a komplex síkon az egységkörön belül kell hogy elhelyezkedjen (a határvonalat is beleértve).

(ezt legkönnyebb veszteségmentes esetben végiggondolni)

j2 - Elmélet átvizsgálása - szinuszos megoldás

Az egyetlen szinuszra érvényes megoldás a szokásos módszerekkel átvihető általános esetben, vagy vizsgálhatók a paraméterek frekvenciatartományban:

j2 - Elmélet átismétlése - szinuszos megoldás

Az egyetlen szinuszra érvényes megoldás a szokásos módszerekkel átvihető általános esetben, vagy vizsgálhatók a paraméterek frekvenciatartományban:

- ▶ frekvenciafüggő reflexiós tényező (nagyon gyakori)
- ▶ frekvenciafüggő kábelcsillapítás (megszokható)
- ▶ frekvenciafüggő hullámimpedancia (nem szeretjük)

4 - csillapítás és fázistolás mérése

Mit is jelent pontosan a γ terjedési együttható? Hogy lehet mérni?

4 - csillapítás és fázistolás mérése

Mit is jelent pontosan a γ terjedési együttható? Hogy lehet mérni?
(Z_0 -át már láttuk a rezisztív osztónál)

4 - csillapítás és fázistolás mérése

Mit is jelent pontosan a γ terjedési együttható? Hogy lehet mérni?
(Z_0 -át már láttuk a rezisztív osztónál)
Elrendezés a korábbi: illesztett generátor, kábel, illesztett lezárás.

4 - csillapítás és fázistolás mérése

Mit is jelent pontosan a γ terjedési együttható? Hogy lehet mérni?
(Z_0 -át már láttuk a rezisztív osztónál)

Elrendezés a korábbi: illesztett generátor, kábel, illesztett lezárás.

Mivel a generátor a jelforrás, és a lezárás illesztett, nem alakul ki reflexió, nincsen csak az egyik irányba terjedő hullám, $u^- = 0$.

4 - csillapítás és fázistolás mérése

Mit is jelent pontosan a γ terjedési együttható? Hogy lehet mérni?
(Z_0 -át már láttuk a rezisztív osztónál)

Elrendezés a korábbi: illesztett generátor, kábel, illesztett lezárás.

Mivel a generátor a jelforrás, és a lezárás illesztett, nem alakul ki reflexió, nincsen csak az egyik irányba terjedő hullám, $u^- = 0$.

$$\begin{aligned} u(x) &= u^+ e^{-\gamma x} \\ &= u^+ e^{-\alpha x} e^{-j\beta x} \end{aligned}$$

4 - csillapítás és fázistolás mérése

Mit is jelent pontosan a γ terjedési együttható? Hogy lehet mérni?
(Z_0 -át már láttuk a rezisztív osztónál)

Elrendezés a korábbi: illesztett generátor, kábel, illesztett lezárás.

Mivel a generátor a jelforrás, és a lezárás illesztett, nem alakul ki reflexió, nincsen csak az egyik irányba terjedő hullám, $u^- = 0$.

$$\begin{aligned} u(x) &= u^+ e^{-\gamma x} \\ &= u^+ e^{-\alpha x} e^{-j\beta x} \end{aligned}$$

Itt $e^{-j\beta x}$ a fázor forgatásával a hullám fázisának haladását jelenti, míg $e^{-\alpha x}$ az amplitúdó exponenciális csökkenése.

4 - csillapítás és fázistolás mérése

Mit is jelent pontosan a γ terjedési együttható? Hogy lehet mérni?
(Z_0 -át már láttuk a rezisztív osztónál)

Elrendezés a korábbi: illesztett generátor, kábel, illesztett lezárás.

Mivel a generátor a jelforrás, és a lezárás illesztett, nem alakul ki reflexió, nincsen csak az egyik irányba terjedő hullám, $u^- = 0$.

$$\begin{aligned} u(x) &= u^+ e^{-\gamma x} \\ &= u^+ e^{-\alpha x} e^{-j\beta x} \end{aligned}$$

Itt $e^{-j\beta x}$ a fázor forgatásával a hullám fázisának haladását jelenti, míg $e^{-\alpha x}$ az amplitúdó exponenciális csökkenése.

Mérés és számítás

4 - csillapítás és fázistolás mérése

Mit is jelent pontosan a γ terjedési együttható? Hogy lehet mérni?
(Z_0 -át már láttuk a rezisztív osztónál)

Elrendezés a korábbi: illesztett generátor, kábel, illesztett lezárás.
Mivel a generátor a jelforrás, és a lezárás illesztett, nem alakul ki reflexió, nincsen csak az egyik irányba terjedő hullám, $u^- = 0$.

$$\begin{aligned} u(x) &= u^+ e^{-\gamma x} \\ &= u^+ e^{-\alpha x} e^{-j\beta x} \end{aligned}$$

Itt $e^{-j\beta x}$ a fazon forgatásával a hullám fázisának haladását jelenti, míg $e^{-\alpha x}$ az amplitúdó exponenciális csökkenése.

Mérés és számítás

Általában β kevésbé frekvenciafüggő, és a fénysebességhez viszonyított *velocity factor*-t adják meg, de α a frekvenciával növekszik, és a különböző kábelekre dB/100m-ben adják meg, frekvenciafüggően.

Példa: Draka H-155 koaxiális kábel

Electrical properties

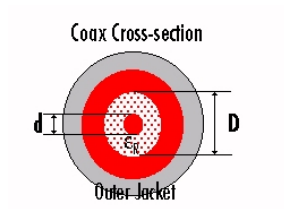
at 20°C

DC resistance	Inner conductor	16.5 Ω/km
	Outer conductor	15 Ω/km
Mutual capacitance		84 pF/m
Velocity ratio		78 %
Characteristic impedance at 200 MHz		50 Ω ± 2 Ω
Transfer impedance	10 MHz	≤ 4 mΩ/m
	100 MHz	≤ 3 mΩ/m
Operating voltage		1.0 kV _{rms}
Test voltage	Inner/Outer conductor	2.0 kV _{rms}
Screening factor	100-100 MHz	90 dB
Insulation resistance		≥ 10 GΩ*km

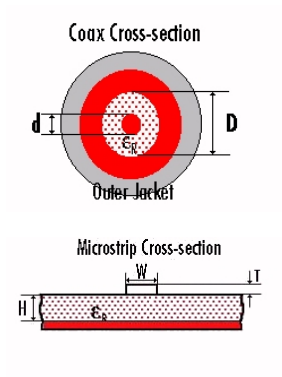
Electrical data

Frequency (MHz)	Attenuation (dB/100m)	Max. power rating (Watts) (ambient temperature 40°C and max. inner conductor temperature 100°C)
	nominal	maximum
1	1.2	6452
10	3.3	2040
100	9.3	640
200	13.4	452
800	27.8	221
1000	31.2	198
1600	40.3	156
2000	46.0	133
3000	57.4	113
5200	80.8	85
5800	87.8	80

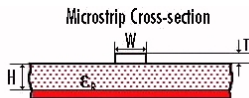
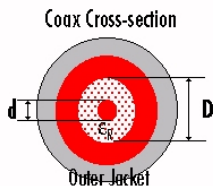
Példák további távvezeték struktúrákra



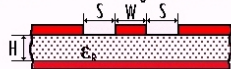
Példák további távvezeték struktúrákra



Példák további távvezeték struktúrákra

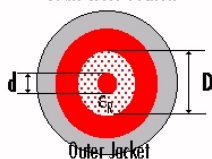


Grounded CoPlanar Waveguide Cross-section

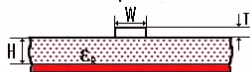


Példák további távvezeték struktúrákra

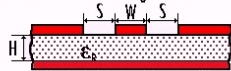
Coax Cross-section



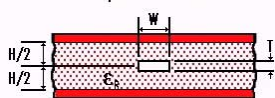
Microstrip Cross-section



Grounded CoPlanar Waveguide Cross-section

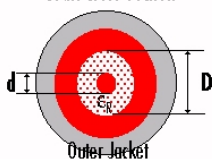


Stripline Cross-section

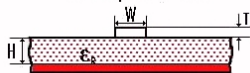


Példák további távvezeték struktúrákra

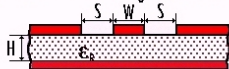
Coax Cross-section



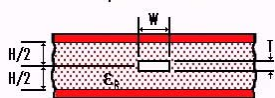
Microstrip Cross-section



Grounded CoPlanar Waveguide Cross-section



Stripline Cross-section



j3 - Szórási paraméterek

Hogyan tudunk leírni kétkapukat (vagy többkapukat) hullámokkal?

j3 - Szórási paraméterek

Hogyan tudunk leírni kétkapukat (vagy többkapukat) hullámokkal?

Teljesítmény-hullámok:

$$a \triangleq \frac{1}{2} \frac{u + Z_0 i}{\sqrt{|\Re\{Z_0\}|}}$$
$$b \triangleq \frac{1}{2} \frac{u - Z_0 i}{\sqrt{|\Re\{Z_0\}|}}$$

(megj: van másik definíció is, amely konstans szorzóban eltér)

j3 - Szórási paraméterek

Hogyan tudunk leírni kétkapukat (vagy többkapukat) hullámokkal?

Teljesítmény-hullámok:

$$a \triangleq \frac{1}{2} \frac{u + Z_0 i}{\sqrt{|\Re\{Z_0\}|}}$$
$$b \triangleq \frac{1}{2} \frac{u - Z_0 i}{\sqrt{|\Re\{Z_0\}|}}$$

(megj: van másik definíció is, amely konstans szorzóban eltér)

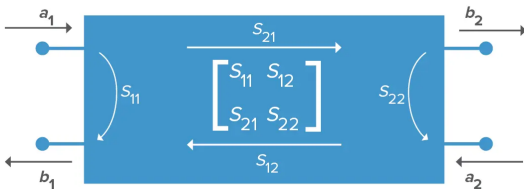
$$\begin{aligned} a &\triangleq \frac{1}{2} \frac{u + Z_0 i}{\sqrt{|\Re\{Z_0\}|}} \\ &= \frac{1}{2} \frac{u^+ + u^- + Z_0 \left(\frac{u^+}{Z_0} - \frac{u^-}{Z_0} \right)}{\sqrt{Z_0}} \\ &= \frac{1}{2} \frac{u^+ + u^- + u^+ - u^-}{\sqrt{Z_0}} \\ &= \frac{1}{2} \frac{2u^+}{\sqrt{Z_0}} = \frac{u^+}{\sqrt{Z_0}} \end{aligned}$$

j3 - Szórási paraméterek

Tehát az a és b teljesítmény-hullámok (power waves) arányosak az u^+ és u^- paraméterekkel, a két irányba terjedő hullám által szállított teljesítmény gyökével.

j3 - Szórási paraméterek

Tehát az a és b teljesítmény-hullámok (power waves) arányosak az u^+ és u^- paraméterekkel, a két irányba terjedő hullám által szállított teljesítmény gyökével. Egy *lineáris idő-invariáns* n-kapura igaz, hogy az egyes kapuk ilyen hullámai között lineáris összefüggés van, azaz leírható egy újabb fajta mátrixal a hálózat:



j3 - Szórási paraméterek

Ez a leírás néha hasznosabb, mint a korábban megismert impedancia, hibrid vagy lánc karakterisztikák (de van, hogy azok a hasznosabbak, alkalmazástól függ ez is).

j3 - Szórási paraméterek

Ez a leírás néha hasznosabb, mint a korábban megismert impedancia, hibrid vagy lánc karakterisztikák (de van, hogy azok a hasznosabbak, alkalmazástól függ ez is). Kifejezetten szeretik használni a nagyfrekvenciás technikában, rendszerek frekvenciafüggésének jellemzésére a frekvenciafüggő paramétereket.

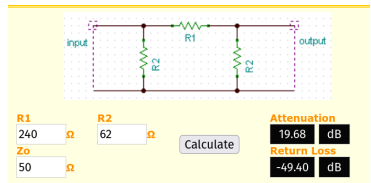
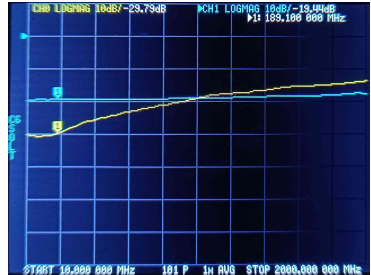
- ▶ S_{11} , S_{22} be- és kimeneti reflexió
- ▶ S_{21} bemenetről kimenetre való átvitel (erősítés, csillapítás, stb)
- ▶ S_{12} kimenetről bemenetre való átvitel (néha izoláció)

Általában frekvencia - decibel skálán ábrázolják, illetve külön grafikonon láthatjuk a fázist (de más módok is elterjedtek, pl. Smith-diagram).

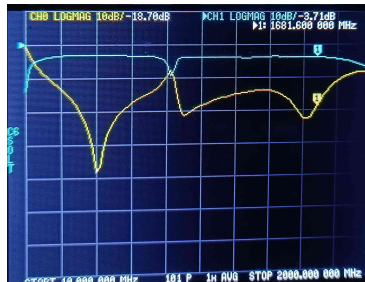
5a - kábel S11 és S21



5b - csillapító S11 és S21



5c - erősítő S11 és S21



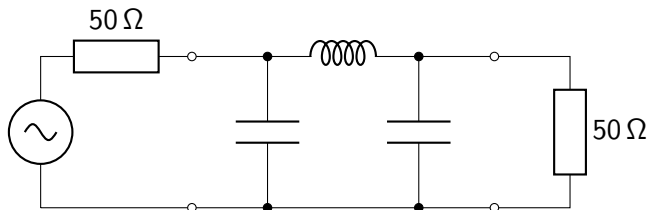
j4 - mindig baj a reflexió?

Eddig főleg problémaként beszéltünk a reflexióról. Lehet neki mégis haszna?

j4 - mindig baj a reflexió?

Eddig főleg problémaként beszéltünk a reflexióról. Lehet neki mégis haszna?

Példa: szűrők. Bizonyos frekvenciákon átengedjük a teljesítményt, bizonyoson visszaverjük a generátorba.

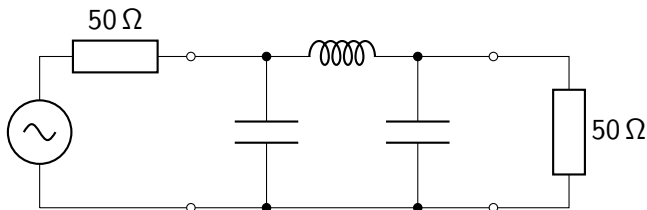


A reflexió miatt a hálózatba a teljesítmény $1 - |S_{11}|^2$ része jut.

j4 - mindig baj a reflexió?

Eddig főleg problémaként beszéltünk a reflexióról. Lehet neki mégis haszna?

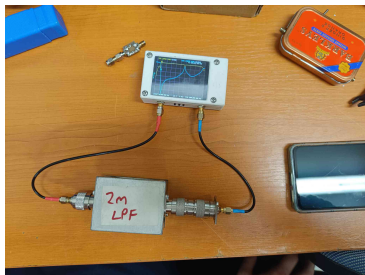
Példa: szűrők. Bizonyos frekvenciákon átengedjük a teljesítményt, bizonyoson visszaverjük a generátorba.



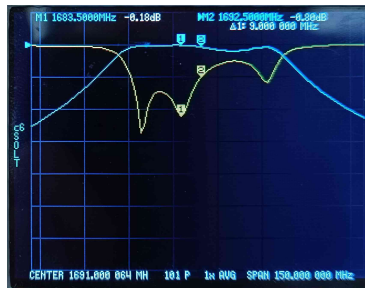
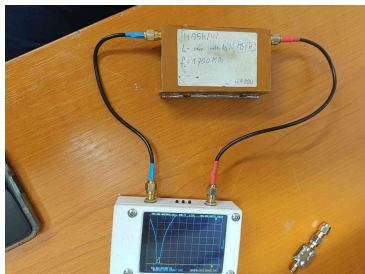
A reflexió miatt a hálózatba a teljesítmény $1 - |S_{11}|^2$ része jut.

Példa: kábelhossz mérése, hibahely keresés - a reflexiók méréseivel megtalálható a hiba helye.

5d - aluláteresztő szűrő S11 és S21



5e - sáváteresztő szűrő S11 és S21



j5 - a negyedhullámú impedanciáttranszformátor

Egyik klasszikus tápvonalas trükk: a negyedhullámú transzformátor.

j5 - a negyedhullámú impedanciáttranszformátor

Egyik klasszikus tápvonalas trükk: a negyedhullámú transzformátor.

Tegyük fel, hogy egy Z_L impedanciával lezárt tápvonal hossza $\lambda/4$. Ekkor a reflexió tényező pontosan fél fordulatot tesz meg a tápvonal végére a komplex síkon, azaz pontosan előjelet vált.

j5 - a negyedhullámú impedanciáttranszformátor

Egyik klasszikus tápvonalas trükk: a negyedhullámú transzformátor.

Tegyük fel, hogy egy Z_L impedanciával lezárt tápvonal hossza $\lambda/4$. Ekkor a reflexió tényező pontosan fél fordulatot tesz meg a tápvonal végére a komplex síkon, azaz pontosan előjelet vált. A bemeneti impedancia így:

$$\Gamma = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$$

$$\Gamma' = \frac{Z_0 - Z_L}{Z_L + Z_0}$$

$$\frac{Z - Z_0}{Z + Z_0} = \frac{Z_0 - Z_L}{Z_L + Z_0}$$

$$(Z - Z_0)(Z_L + Z_0) = (Z_0 - Z_L)(Z + Z_0)$$

$$Z(Z_L + Z_0) - Z_0 Z_L - Z_0^2 = Z(Z_0 - Z_L) + Z_0^2 - Z_0 Z_L$$

$$2ZZ_L = 2Z_0^2$$

$$Z = \frac{Z_0^2}{Z_L}$$

j6 - a 0-os hibrid

Alkalmazás: szeretnénk a teljesítményt két részre osztani, illesztett módon és veszteségmentesen.

j6 - a 0-os hibrid

Alkalmazás: szeretnénk a teljesítményt két részre osztani, illesztett módon és veszteségmentesen.
A két $50\,\Omega$ -os lezárás párhuzamba kötése nem jó, mivel az eredő $25\,\Omega$ nem jól illesztett.

j6 - a 0-os hibrid

Alkalmazás: szeretnénk a teljesítményt két részre osztani, illesztett módon és veszteségmentesen.
A két $50\ \Omega$ -os lezárás párhuzamba kötése nem jó, mivel az eredő $25\ \Omega$ nem jól illesztett.
Megoldás: transzformáljuk fel az $50\ \Omega$ -ot $100\ \Omega$ -ra, és akkor máris párhuzamba köthetjük őket.

j6 - a 0-os hibrid

Alkalmazás: szeretnénk a teljesítményt két részre osztani, illesztett módon és veszteségmentesen.

A két $50\ \Omega$ -os lezárás párhuzamba kötése nem jó, mivel az eredő $25\ \Omega$ nem jól illesztett.

Megoldás: transzformáljuk fel az $50\ \Omega$ -ot $100\ \Omega$ -ra, és akkor máris párhuzamba köthetjük őket.

A transzformációhoz $\lambda/4$ hosszú tápvonal kell, melynek impedanciája $\sqrt{50\ \Omega \cdot 100\ \Omega} = \sqrt{2} \cdot 50\ \Omega = 70,7\ \Omega$.

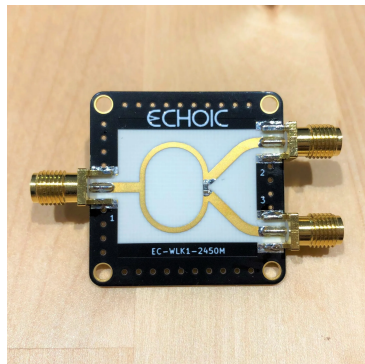
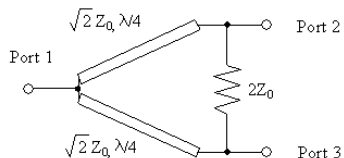
j6 - a 0-os hibrid

Alkalmazás: szeretnénk a teljesítményt két részre osztani, illesztett módon és veszteségmentesen.

A két $50\ \Omega$ -os lezárás párhuzamba kötése nem jó, mivel az eredő $25\ \Omega$ nem jól illesztett.

Megoldás: transzformáljuk fel az $50\ \Omega$ -ot $100\ \Omega$ -ra, és akkor máris párhuzamba köthetjük őket.

A transzformációhoz $\lambda/4$ hosszú tápvezeték kell, melynek impedanciája $\sqrt{50\ \Omega \cdot 100\ \Omega} = \sqrt{2} \cdot 50\ \Omega = 70,7\ \Omega$.



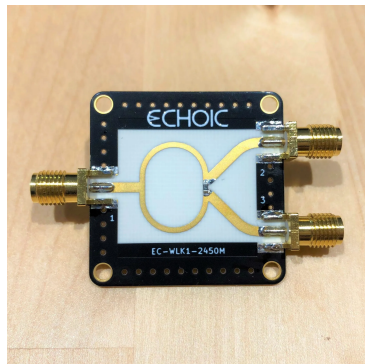
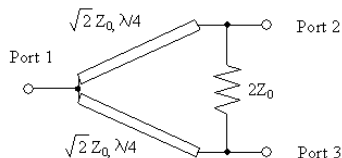
j6 - a 0-os hibrid

Alkalmazás: szeretnénk a teljesítményt két részre osztani, illesztett módon és veszteségmentesen.

A két $50\ \Omega$ -os lezárás párhuzamba kötése nem jó, mivel az eredő $25\ \Omega$ nem jól illesztett.

Megoldás: transzformáljuk fel az $50\ \Omega$ -ot $100\ \Omega$ -ra, és akkor máris párhuzamba köthetjük őket.

A transzformációhoz $\lambda/4$ hosszú tápvonal kell, melynek impedanciája $\sqrt{50\ \Omega \cdot 100\ \Omega} = \sqrt{2} \cdot 50\ \Omega = 70,7\ \Omega$.



Az olcsó vételtechnikai $75\ \Omega$ -os koaxkábel elég közel van ehhez: $\frac{(75\ \Omega)^2}{50\ \Omega} = 112,5\ \Omega$, ami általában elfogadható.