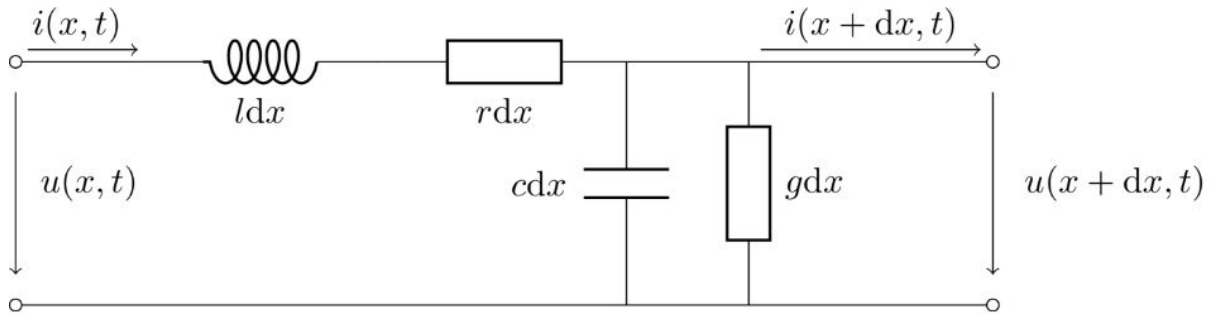


Tranziensek

1. Ideális, egyfázisú távvezetéken való hullámterjedés jellemző mennyiségei, ezeknek fizikai tartalma. A hullámparaméterek és a vezetékek soros/sönt impedanciái közötti kapcsolat
2. A hullámreflexiók okai és következményei egy-, illetve több-vezetős távvezetéseken. Reflexió-mentes lezárás és Thevenin ekvivalens forrás egy és több fázisú esetben
3. A Bergeron - eljárás ismertetése példa kapcsán. A módszer hullámfizikai származtatása. Feszültség- és áram-időfüggvények megszerkesztése
4. A Bewley - eljárás bemutatása példán, összehasonlítása a Bergeron - módszerrel fizikai kép, alkalmazhatósági korlátok szempontjából. Feszültség- és áram-időfüggvények megszerkesztése.
5. A kapcsolási műveletek törlő hullámmal (cancellation wave) való szimulációjának módszere. A módszer bemutatása egy példa kapcsán
6. A kapcsolási műveletek steady-state hullámokkal való szimulációjának módszere. A módszer bemutatása példa kapcsán
7. Mire használhatók a referencia - áramkörök, melyek a megalkotásuk alapvető szabályai és mitől függ a pontosságuk? (Példákkal illusztrálva)
8. Több véges hosszúságú vezetéket tartalmazó hálózat referencia-kapcsolásának kialakítása, példával alátámasztva
9. Koncentrált induktivitást, illetve kapacitást tartalmazó hálózat referenciakapcsolásának kialakítása, példával bemutatva
10. Hogyan lehet információt kapni a vezeték belső, (a diszkontinuitási pontok közötti) pontjain a tranziens során kialakuló feszültségek és áramokról a Bergeron, Bewley módszerrel, vagy referencia-kapcsolással való számítás esetén?
11. Távvezeték be- és visszakapcsolása során lezajló tranziens folyamatok bemutatása. Az egyes tranziensek hatásának, jelentőségének ismertetése, a folyamatok befolyásolhatósága
12. Kapocszárlat, valamint a kistávolságú zárlat tisztázásának tranziens folyamata. A távolsági zárlat során fellépő tranziensek jelentősége, kapcsolóberendezés igénybevételek
13. A távvezeték veszteségeinek (sodrony ellenállás, földben való hullámterjedés), illetve a sugárzásnak a hatása a hullámterjedés folyamatára
14. Többvezetős (kétvezetős) távvezetéken lezajló hullámterjedés sajátosságai és legfontosabb jellemzői. Mi az egyvezetős rendszerbeli terjedéstől való eltérés fizikai oka? Modusok fogalma, hatásuk két vezető - föld rendszerben. A kétvezetős rendszerre kapott eredmények n vezetőre való kiterjesztésének lehetősége
15. Tekercselt hálózati berendezések (söntfojtók, transzformátorok, motorok állórész tekercse) tranziens feszültség-igénybevételei

1. Ideális, egyfázisú távvezetéken való hullámterjedés jellemző mennyiségei, ezeknek fizikai tartalma. A hullámparaméterek és a vezetékek soros/sönt impedanciái közötti kapcsolat



A távvezeték elosztott paramétereit a következők:

L: induktivitás [H/m]

R: soros ellenállás [Ω /m]

C: föld és a TV közötti kapacitás [F/m]

G: vezetés a föld és a TV között [S/m]

Minden elosztott paraméter végtelen finoman helyezkedik el a TV mentén, ezért hosszegységre eső értéket vesszük alapul.

Ideális távvezeték esetén $R=0$, $G=0$.

A TV helyettesítő képe alapján felírhatóak a távíró egyenletek, amik ideális TV esetén az alábbi formában néznek ki:

$$\frac{\partial u}{\partial y} = -L' \cdot \frac{\partial i}{\partial t}$$

$$\frac{\partial i}{\partial y} = -C' \cdot \frac{\partial u}{\partial t}$$

Az egyenletek megoldásával a feszültségre és az áramra is egy hullámterjedésre jellemző alakot kapunk:

$$u = f_u\left(t - \frac{y}{v}\right) \text{ és } i = f_i\left(t - \frac{y}{v}\right)$$

Ezeket az egyenleteket tovább visszahelyettesítve a távíró egyenletbe:

$$u = \boxed{F_1^+ \left(t - \frac{y}{v}\right)} + \boxed{F_2^- \left(t + \frac{y}{v}\right)}$$

$$i = \frac{F_1\left(t - \frac{y}{v}\right) - F_2\left(t + \frac{y}{v}\right)}{Z}$$

Az egyenletek azt tükrözik, hogy a transziens folyamatok idején a vezeték bármely pontján két, ellentétes irányú feszültség-, illetve áramhullám halad és a feszültség, valamint az áram ezeknek szuperpozíciójaként alakul ki.

Ha egy derékszöghullám halad át a távvezetéken, akkor az áram, feszültség az alábbi formában írható fel:

$$u = \frac{d\Psi}{dt} = \frac{iL'vdt}{dt} = iL'v$$

$$i = \frac{dQ}{dt} = \frac{uC'vdt}{dt} = uC'v$$

Ezekből adódik a távvezetékben terjedő hullám sebessége:

$$v = \frac{1}{\sqrt{L' \cdot C'}}$$

Ebből kifejezhető a befutási idő:

$$T = \frac{l}{v} = \sqrt{L' \cdot C'}$$

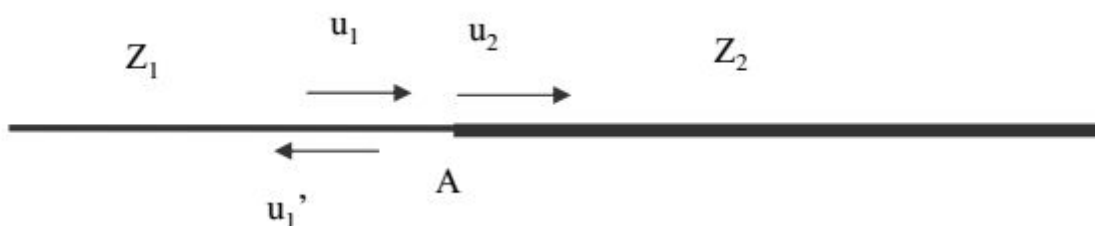
A feszültség és áramhullám adott pillanatra vonatkozó értékének hányadosa:

$$\frac{u}{i} = \sqrt{\frac{L}{C}} = Z$$

Z a vezeték hullámimpedanciája, amely független a vezeték hosszától. Ideális, végtelen hosszú TV hullámimpedanciája ohmos jellegű. Egy TV paramétereit az L, C tag, vagy pedig a T, Z paraméterek határozzák meg, egyik pár ismeretéből kiszámítható a másik kettő.

2. A hullámreflexiók okai és következményei egy-, illetve több-vezetős távvezetéseken. Reflexió-mentes lezárás és Thevenin ekvivalens forrás egy és több fázisú esetben

Ha egy Z₁ hullámellenállású vezetéken haladó hullám olyan, ún. diszkontinuitási ponthoz érkezik, ahol az u/i aránynak meg kell változnia (ilyen lehet pl. más hullámellenállású vezetékhez való csatlakozás, elágazás, soros vagy sönt ellenállás), akkor a diszkontinuitási ponton a hullám megváltozott amplitúdóval halad át, illetve ebből a pontból visszavert hullám indul el negatív irányban a Z₁ hullámellenállású vezetéken.



Az áthatoló, illetve visszavert feszültség-, valamint áramhullámok meghatározása érdekében az alábbi egyenleteket lehet felírni:

$$\begin{aligned} u_1 &= i_1 \cdot Z_1 \\ u_2 &= i_2 \cdot Z_2 \\ u_1' &= -i_1' \cdot Z_1 \\ u_1 + u_1' &= u_2 \\ i_1 + i_1' &= i_2 \end{aligned}$$

Fenti egyenletekből:

$$u_2 = \frac{u_1 2Z_2}{Z_1 + Z_2} = \beta_u u_1; \quad i_2 = \frac{i_1 2Z_1}{Z_1 + Z_2} = \beta_i i_1,$$

β : áthatolási tényező

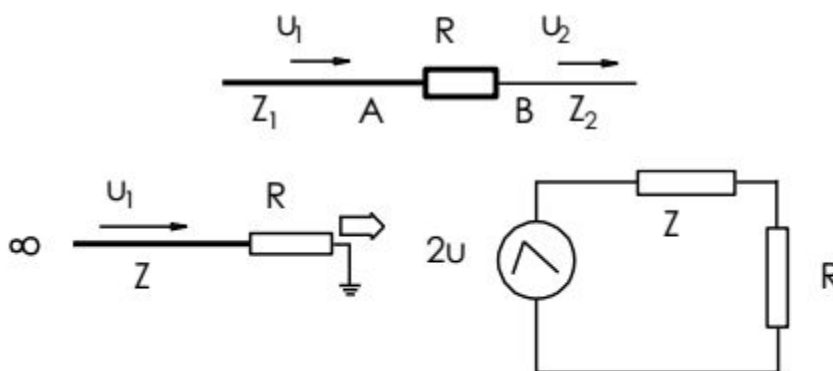
$$u_1' = \frac{u_1(Z_2 - Z_1)}{Z_1 + Z_2} = \rho_u u_1; \quad i_1' = \frac{i_1(Z_1 - Z_2)}{Z_1 + Z_2} = \rho_i i_1,$$

ρ : visszaverődési tényező

$$\beta = 1 + \rho.$$

	Rövidzár $Z_2=0$	Szakadás $Z_2=\infty$	Hullám lezárás $Z_2=Z_1$	Tetszőleges lezárás $Z_2 \neq Z_1$
$\beta_i = 2 \cdot Z_1 / (Z_1 + Z_2)$	2	0	1	$2 \cdot Z_1 / (Z_1 + Z_2)$
$\beta_u = 2 \cdot Z_2 / (Z_1 + Z_2)$	0	2	1	$2 \cdot Z_2 / (Z_1 + Z_2)$
$\rho_i = (Z_1 - Z_2) / (Z_2 + Z_1)$	1	-1	0	$(Z_1 - Z_2) / (Z_2 + Z_1)$
$\rho_u = (Z_2 - Z_1) / (Z_2 + Z_1)$	-1	1	0	$(Z_2 - Z_1) / (Z_2 + Z_1)$

Thévenin-elv:



3. A Bergeron - eljárás ismertetése példa kapcsán. A módszer hullámfizikai származtatása. Feszültség- és áram-időfüggvények megszerkesztése

(Elektró 2 jegyzet)

A Bergeron-eljárás a tranzienseket a feszültség-áram koordináta-rendszerben vizsgálja.

A Bergeron szerkesztés használati feltételei:

- Veszteségmentes távvezeték esetén használható
- A távvezeték bemenetén $t=0$ pillanatban egyenfeszültség rákapcsolását követően kialakuló folyamatra alkalmazható
- A távvezeték kezdetén és végén adja meg a feszültség és az áram összetartozó értékeit, amikor a hullám éppen ott tartózkodik

Kiindulás:

$$U = U^+ + U^- \quad (6.5.-1.)$$

$$I = \frac{U^+}{Z_0} - \frac{U^-}{Z_0} \quad (6.5.-2.)$$

A 6.5.-2. egyenletet szorozzuk meg Z_0 -al, majd adjuk hozzá 6.5.-1.-hez és fejezzük ki U^- -t:

$$I \cdot Z_0 = U^+ - U^-$$

$$U + I \cdot Z_0 = 2U^+$$

$$U = 2U^+ - I \cdot Z_0 \quad (6.5.-3.)$$

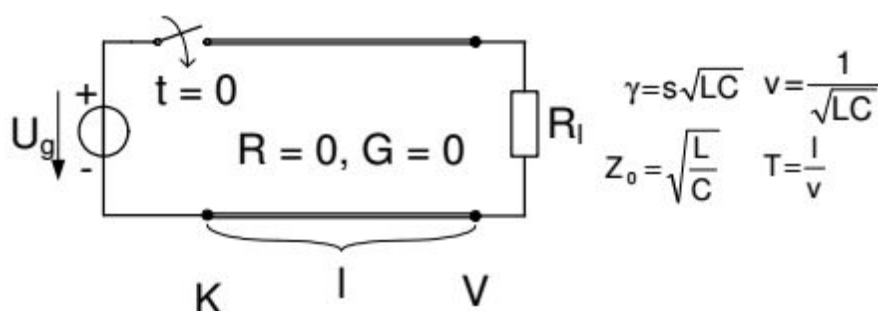
A 6.5.-2. egyenletet szorozzuk meg Z_0 -al, majd vonjuk ki 6.5.-1.-ből és fejezzük ki U^- -t:

$$U - I \cdot Z_0 = 2U^-$$

$$U = 2U^- + I \cdot Z_0 \quad (6.5.-4.)$$

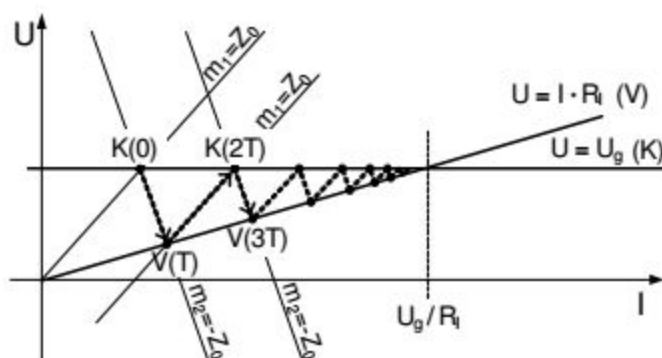
Feladatok:

- Veszteségmentes távvezeték, ideális egyenfeszültség forrás betáplálással és R_1 lezárással



Ideális feszültségforrást ($R_g=0$) kapcsolunk az l hosszúságú távvezeték bemenetére a $t=0$ pillanatban és a távvezeték vége R_l ellenállással van lezárva.

Első lépés a távvezeték kezdetén (K) a feszültség és áram összetartozó értékeit megadó görbe megrajzolása, ami jelen esetben az $U=U_g$ egyenes, mivel ha a hullám a távvezeték kezdetén van a feszültség az ideális feszültségforrás miatt mindig U_g . Mivel a távvezeték vége R_l ellenállással van lezárva, így a távvezeték végére (V) vonatkozó görbe egyenlete $U=I \cdot R_l$ egyenes.



A $t = 0$ pillanatban a bemenetre ugrásszerűen $U=U_g$ feszültséget kapcsolunk. Visszavert hullám nincs ($U^- = 0$), ezért a 6.5.-4. egyenletből $U=I \cdot Z_0$. A kezdőpontban tehát $U_g=I \cdot Z_0$. Megrajzolva az $m_1=Z_0$ meredekség, origón áthaladó egyenest az $U=U_g$ -vel való metszéspont lesz a kiindulási, $K(0)$ pont.

A $0 < t < T$ intervallumban a szerkesztéshez a 6.5.-3 egyenletet célszerű használni, mivel csak előrehaladó hullám van. Az $U=2U^+ - I \cdot Z_0$ egyenesnek át kell menni a $K(0)$ ponton, vagyis rajzolni kell egy $m_2 = -Z_0$ meredekség, $K(0)$ -on átmenő egyenest.

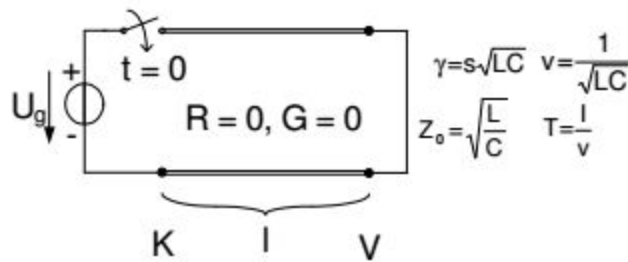
$t = T$ időpillanatban a távvezeték végén az $U = IZ_0$ összefüggés érvényes, így a $V(T)$ pont a $K(0)$ ponton áthaladó egyenes és az $U = IZ_0$ egyenes metszéspontja.

A $T < t < 2T$ időtartományban csak visszavert hullám van, ezért célszerű a 6.5.-4. egyenletet használni. Az $U = 2U + IZ_0$ egyenesnek át kell menni a $V(T)$ ponton, vagyis rajzolni kell egy $m_1 = Z_0$ meredekségű, $V(T)$ ponton átmenő egyenest.

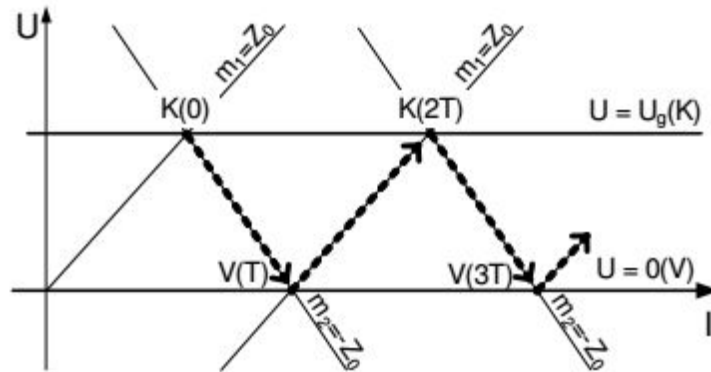
A $t = 2T$ pillanatban a $K(2T)$ pontot az előbbi egyenes és az $U = U_g$ egyenes metszéspontja adja. Innen a szerkesztés menete periódikusan ismétlődik. A 6.5.1.-2. ábra alapján a transziens folyamat végén kialakuló állandósult áram értéke:

$$I = U_g / R_1$$

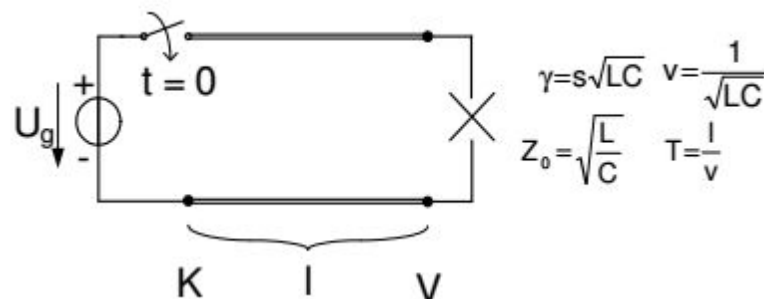
- Veszteségmentes távvezeték, ideális egyenfeszültségű forrás betáplálással és kimeneti rövidzár esetén



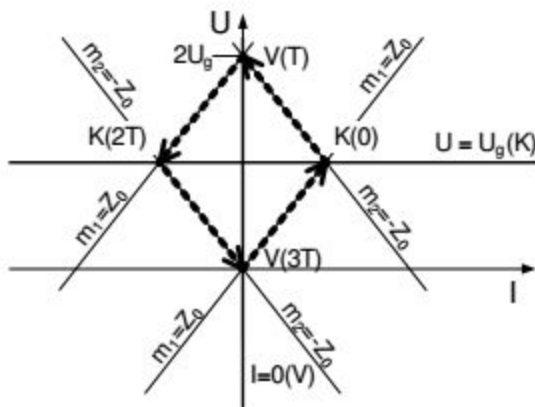
Az előző esethez képest a távvezeték végére (V) vonatkozó határgörbe egyenlete a rövidzár miatt $U = 0$. A szerkesztés menete megegyezik az előzőekben leírtakkal. Az ábra szerint az áram fokozatosan tart a végtelen felé.



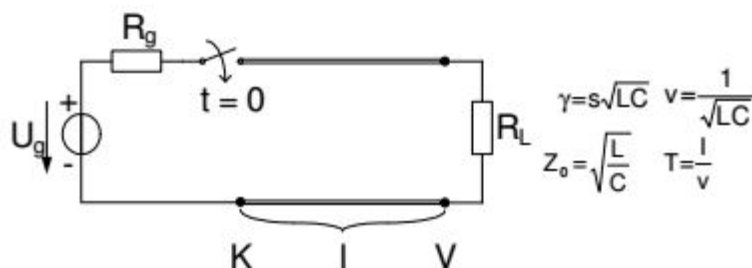
- Veszteségmentes távvezeték, ideális egyenfeszültség forrás betáplálással és kimeneti szakadás esetén



Jelen esetben a távvezeték végére (V) vonatkozó határgörbe egyenlete a szakadás miatt $I=0$. A szerkesztés menté megegyezik korábban leírtakkal. Az ábra szerint a távvezeték végén a feszültség 0 és $2U_g$ között ingadozik:



- Veszteségmentes távvezeték, valós egyenfeszültség forrás betáplálás (R_g) és kimeneti R_l terhelés esetén

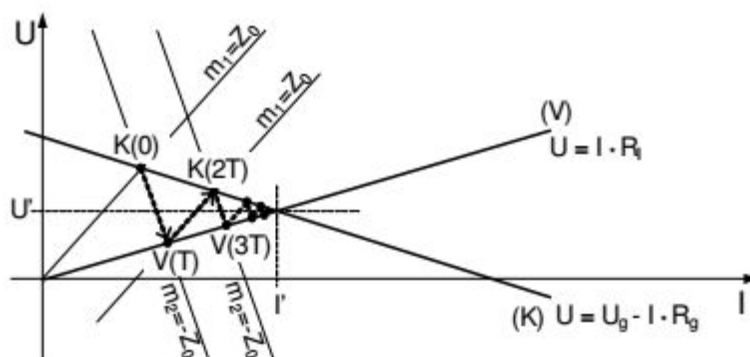


Jelen esetben az előzőekhez képest a távvezeték kezdetére vonatkozó határgörbe egyenlete az R_g generátor ellenállás miatt $U = U_g - I \cdot R_g$ egyenes. A szerkesztés menté megegyezik a korábban leírtakkal. A 6.5.4.-2. ábra szerint a tranzien folyamat után a távvezeték végén a feszültség:

$$U' = \frac{U_g R_l}{R_l + R_g}$$

és áram:

$$I' = \frac{U_g}{R_l + R_g}$$



Áram és feszültség időfüggvények:

Az U-I karakterisztikán megkaptuk a távvezeték végén (V) és kezdetén (K) levő értékeket. A pontok sorrendben követik egymást T időközönként. Az áram és feszültség időfüggvények felrajzolásához a megfelelő tengelyek metszeteit kell leolvasni. Így megkapjuk az időfüggvények $n \cdot T$ helyen felvett értékét.

4. A Bewley - eljárás bemutatása példán, összehasonlítása a Bergeron – módszerrel fizikai kép, alkalmazhatósági korlátok szempontjából. Feszültség- és áram-időfüggvények megszerkesztése.

Az eljárás fő vonása és egyben előnye abban áll, hogy a hullámok sorozatos reflexióját az idő függvényében kíséri végig, közvetlenül időfüggvényeket szolgáltat mind az áramra, mind pedig a feszültségre nézve.

A szerkesztés, illetve számítás közben nem tükrözi úgy a tranziens karakterét, mint a Bergeron-eljárás, ez csak a részhullámok szuperponálását követően derül ki.

Hátránya, hogy szerkesztési módszerként kezelése – főleg elágazó távvezetékek esetén – nehézkes.

Jól használható pl. légköri eredetű túlfeszültségek vizsgálatához, mert a villámcsapásból a távvezetésekre kerülő, külső eredetű többlettöltés hullámokat indít el, tehát itt nem az előzményállapotból és kapcsolási műveletből kell kiindulni. A kapcsolási tranziensek tanulmányozásához azonban a Bewley-eljárást csupán úgy lehet használni, ha a kapcsolási művelet hatását hullámmá alakítjuk. A kapcsolási műveletet modellező hullámok létrehozására kétféle eljárás ismeretes: a cancellation wave (érvénytelenítő hullám), illetve steady-state waves (stacioner hullámok) létrehozása.

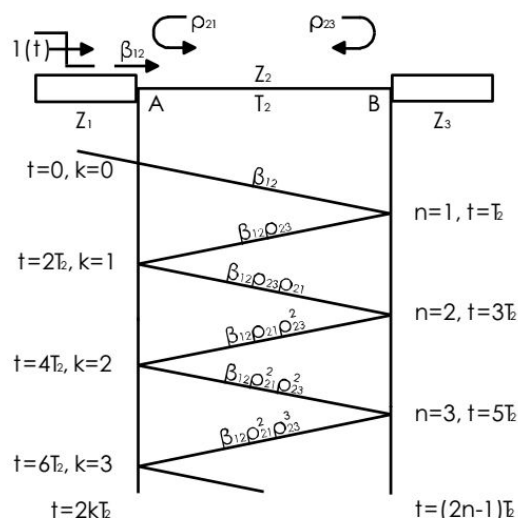
(<https://coherentmusings.wordpress.com/2013/01/>)

5. A kapcsolási műveletek törlő hullámmal (cancellation wave) való szimulációjának módszere. A módszer bemutatása egy példa kapcsán

A cancellation wave feladata az, hogy érvénytelenítse, megsemmisítse a tranziens előtti állapotot és a jellemzőknek (feszültségnek vagy áramnak) a kapcsolási beavatkozás által parancsolt, új értékét valósítsa meg a beavatkozás helyén. Ha a kapcsolási művelet a hálózat két pontjának az összekapcsolását (connection) valósítja meg, akkor a cancellation wave feszültség-hullám, ha szétkapcsolás (disconnection) történik, akkor áram-hullám. Utóbbit a megszakítóknál fontos jellemzők, főleg a visszaszökő feszültség meghatározásánál elterjedten használják, injektált áram néven.

A cancellation wave alkalmazását illetően fontos megjegyezni (főleg pedig megérteni) egyrészt azt, hogy **a cancellation wave végtelen hosszú**, másrészt pedig azt, hogy az eredményt a kapcsolat előtti stacioner állapot és a cancellation wave által okozott tranziens állapot szuperpozíciója szolgáltatja.

Példa:



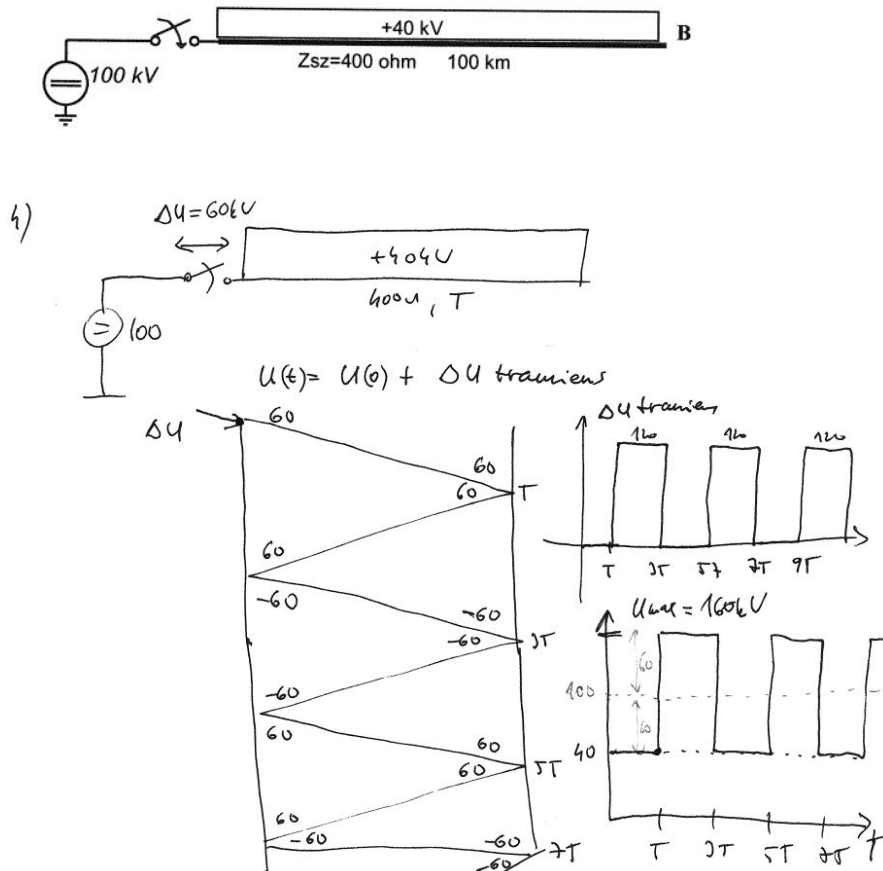
- A hullámot abból a pontból indítjuk, amelyik áramára vagy feszültségére kíváncsiak vagyunk.
- Az értékének akkorának kell lennie, hogy megszüntesse az állandósult állapot értékeit

- Az elindított hullám minden végponton visszaverődik, meg kell szorozni a megfelelő reflexiós tényező értékével. A kapott értékeket felírjuk a vonalra.
- A keresett végponton úgy kapjuk meg az értéket, hogy összeadjuk az adott időpillanatig keletkezett hullámok értékét, ide kell venni az éppen kilépő hullámot is. Pl: Az ábrán az A oldalra $k=1$ esetén a kapott feszültség érték a következő lesz:

$$(U_A)_{k=1} = \beta_{12} + \beta_{12}\rho_{23} + \beta_{12}\rho_{23}\rho_{21} = \beta_{12} + \beta_{12}\rho_{23}(1 + \rho_{21})$$

- Ezt a műveletet elvégezzük $2k \cdot T$ időpontokra, így megkapjuk az értékeket a diagramhoz.

Az alábbi veszteségmentes távvezetéken 40 kV feszültség maradt vissza. A törlőhullámok (cancellation waves) módszerével számítsa ki a kapcsoló $t=0$ időpillanatban történő zárását követően a vezeték nyitott végén (B pont) kialakuló feszültséglengés időfüggvényét $0-8T$ időpontok között. T a vezeték befutási ideje. A hullámterjedés sebessége a szabadvezetéken $300 \text{ m}/\mu\text{s}$. (10 pont)



6. A kapcsolási műveletek steady-state hullámokkal való szimulációjának módszere. A módszer bemutatása példa kapcsán

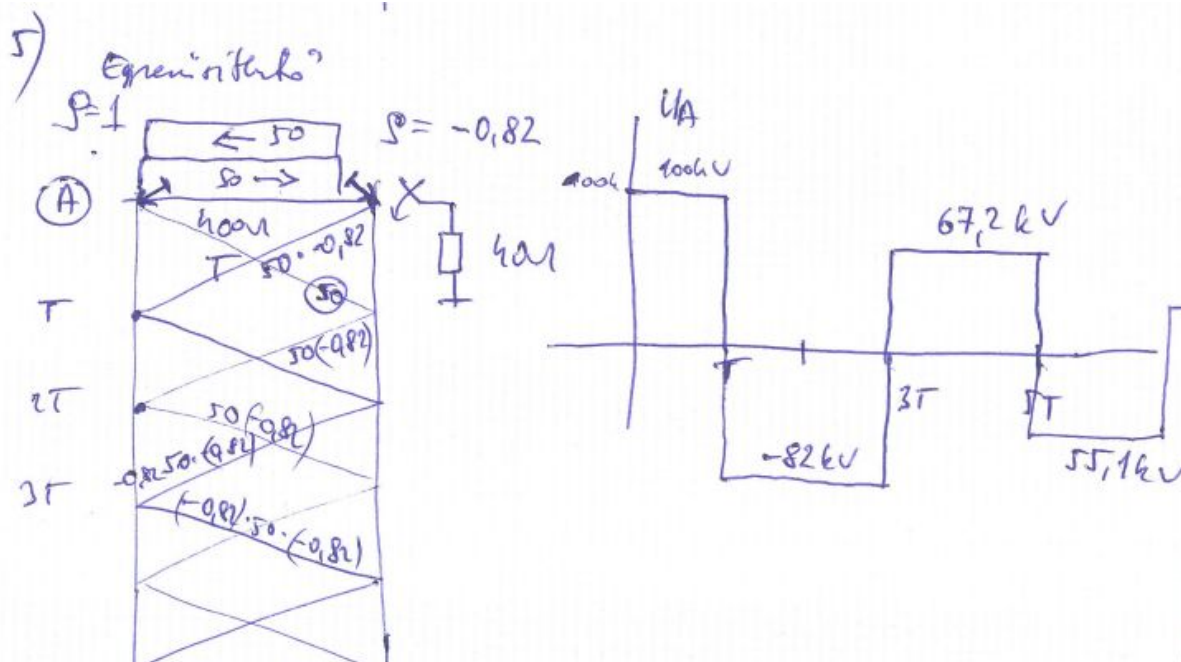
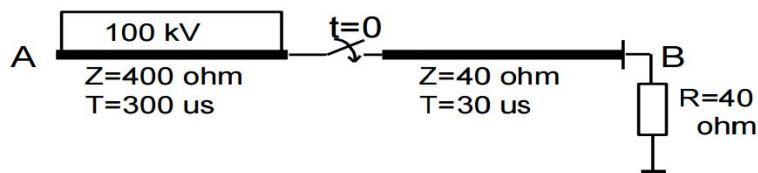
A steady-state waves alkalmazásának alap gondolata az, hogy a távíró egyenletek megoldása természetesen a stacioner folyamatokra is érvényes, így a vezeték bármely pontján a fázisfeszültséget és -áramot két, egymással ellentétes hullám állítja elő. Ha ezeket ismerjük és az állandósult állapot utolsó pillanatát általuk megvalósítottak tekintjük, akkor a kapcsolási művelet hatása csupán a kapcsolás helyén a reflexiós együttható megváltozásaként jelentkezik. A teendő tehát az, hogy a stacioner állapot utolsó pillanatának megfelelő fázisjellemzőjéből rekonstruáljuk a két, ellentétes irányban haladó hullámkomponenst. Fontos megjegyezni, hogy a **steady-state waves** hossza a vezeték hosszával azonos.

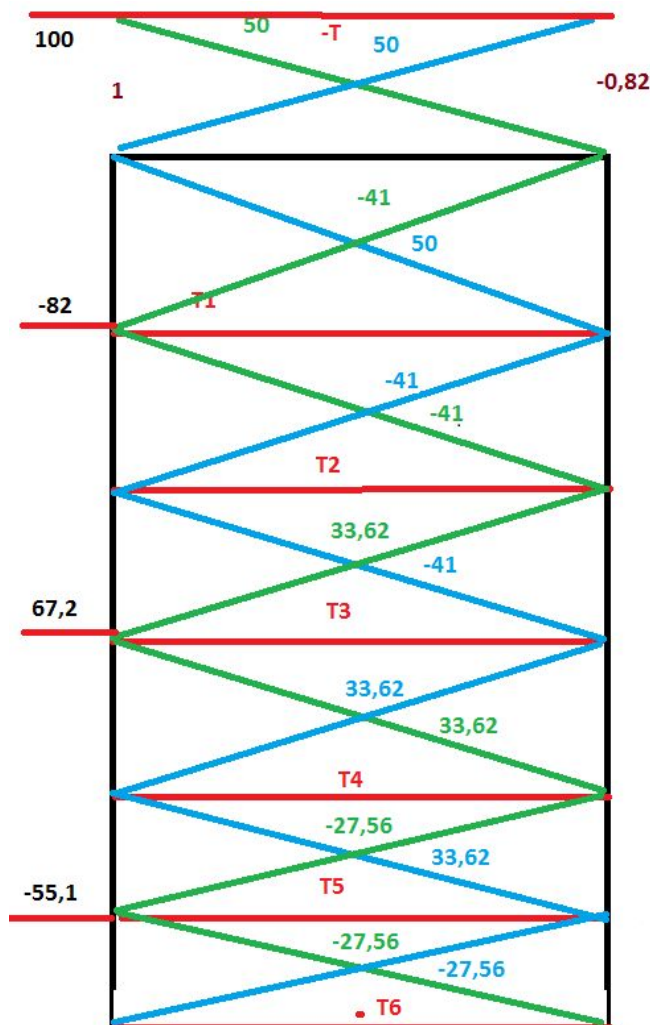
$$U_0 = e_s + e_s' \text{ és } IZ = e_s - e_s'$$

(Ha $IZ=0$, akkor $e_s = e_s'$ csak ilyen volt eddig)

Példa:

Az állóhullámok (steady-state waves) módszere segítségével határozza meg a hálózat A pontjának feszültségét a kapcsoló zárását követően.

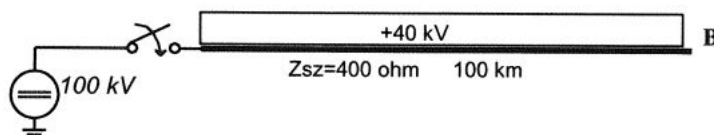


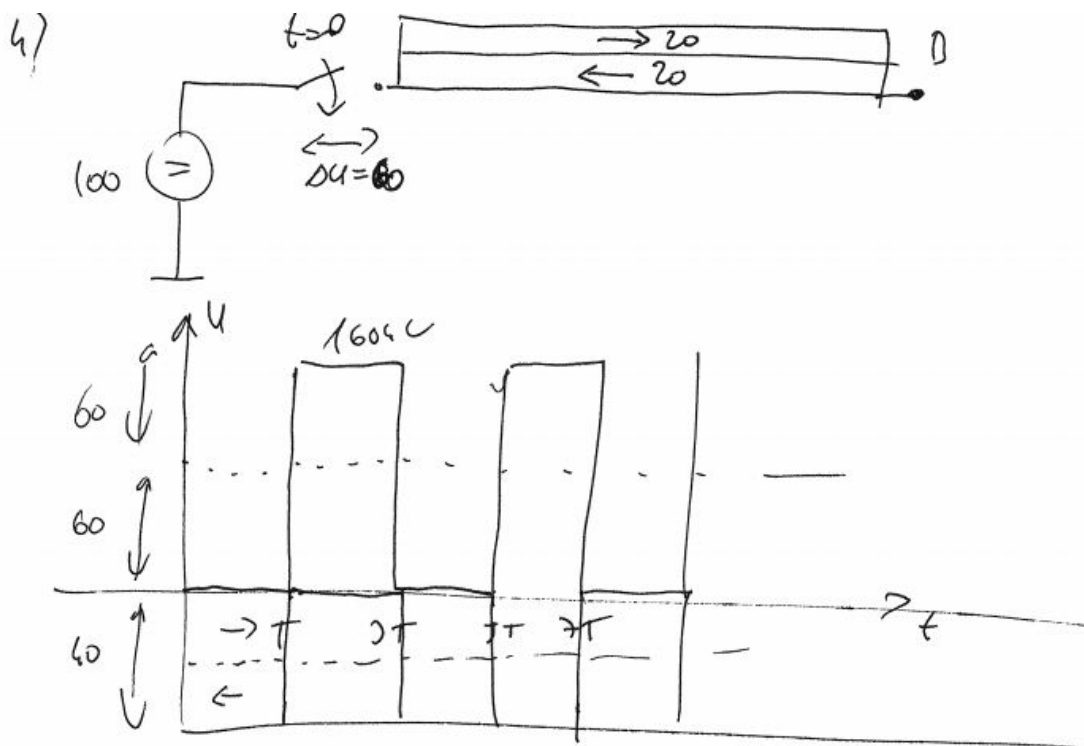


- A hálózat egyszerűsíthető, mivel a 2. távvezeték hullámimpedanciával van lezárva, ezért végtelennek tekinthető, ezért hullámimpedanciával (Z_2) helyettesíthető.
- A távvezeték elején és végén ki kell számolni a reflexiók tényezőit. Ügyelni kell arra, hogy áram vagy feszültség hullámot használunk, mivel ez befolyásolja a reflexiók tényező előjelét.
- Meghatározzuk e_s -t és e_s' -t
 - Kapcsolás előtt nem folyik áram, ezért $I_Z=0 \rightarrow e_s=e_s'=U_0/2$
- Elindítjuk a két hullámot és a visszaverődés helyén megszorozzuk az ott érvényes reflexiók tényezővel, ez lesz a vissza vert hullám
- A beeső és a vissza vert hullámok összege adja a keresett amplitudó értékét
 - Mindig a másik oldalról indított hullámot vesszük figyelembe. (jelen esetben zöldet, ami a B ponttól indul és az A a keresett)
 - Az A oldalon a reflexiók tényező értéke 1 \rightarrow a beeső és a vissza vert hullám megegyezik, az A pont feszültsége a beeső hullám kétszerese lesz

Példa 2:

- 4) Az alábbi veszteségmentes távvezetéken 40 kV feszültség maradt vissza. Az állóhullámok (steady-state waves) módszerével számítsa ki a kapcsoló $t=0$ időpillanatban történő zárását követően a vezeték nyitott végén (B pont) kialakuló feszültség ingulás időfüggvényét $0-8T$ időpontok között. T a vezeték befutási ideje. A hullámterjedés sebessége a szabadvezetéken $300 \text{ m}/\mu\text{s}$. (10 pont)





7. Mire használhatók a referencia - áramkörök, melyek a megalkotásuk alapvető szabályai és mitől függ a pontosságuk? (Példákkal illusztrálva)

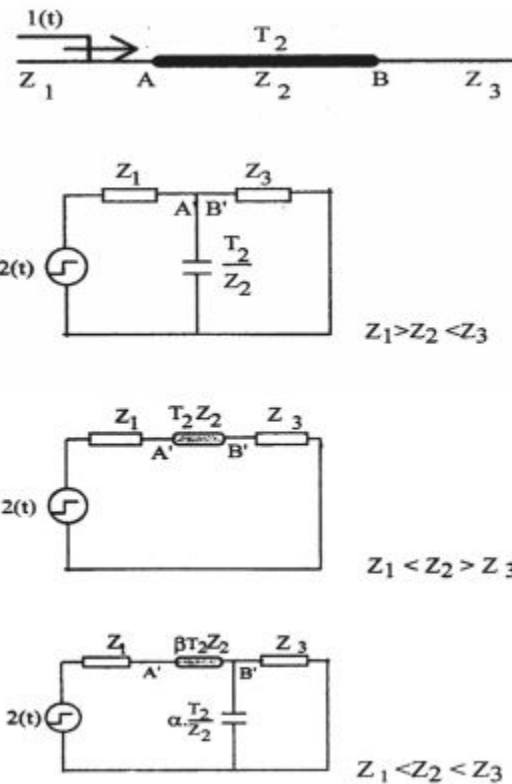
Alkalmazás:

- Villamos hálózatokban lezajló, bonyolult hullámfizikai folyamatok „visszavezetése” csupán koncentrált elemekből felépített áramkörök tranziens folyamataira. Ez lehetővé teszi a villamos hálózatok tranzienseinek egységesebb szemléletét és bonyolult hálózatokban kialakuló tranziensek fizikájának egyszerűbb megértését.
- A tranziens lefolyásának és hatásainak, a hálózat kritikus helyzeteinek a részletes számításokat megelőző becslése, üzemzavar-analízis.
- A tranziens lefolyását alapvetően meghatározó paraméterek kiválasztása: érzékenységi analízis.
- Pontos gépi számítás-sorozatok paraméter-intervallumának előzetes meghatározása, a számítások eredményeinek ellenőrzése.
- Esettanulmányok eredményeinek általánosítása, hasonlósági invariánsok kimutatása, generalizáló koordináta-rendszerek felépítése, kísérlet tervezés.
- Csatlakozó-, illetve háttér-hálózatok modelljeinek egyszerűsítése.
- Villamos energia rendszerek tranziens folyamatainak egyszerű, analóg szimulációval való vizsgálhatósága

Pontosság:

- Kapacitív vezetéknél: annál jobb a közelítés, mennél kisebb az “a” értéke.
- Induktív vezetéknél: annál jobb a közelítés, mennél nagyobb a “b” értéke.
- Oszcilláló vezetéknél annál jobb a közelítés, mennél kisebb az “a” és mennél nagyobb a “b”.
- Annál jobb a közelítés, mennél rövidebb a szimulálandó vezeték befutási ideje.

Paraméterek számítása:



(Generátor feszültsége 2x-es lesz!!!)

$$\frac{Z_2}{Z_1} = a, \frac{Z_2}{Z_3} = b$$

Azt követeljük meg a referencia kapcsolástól, hogy a rezonancia frekvenciája megegyezzen a távvezeték saját frekvenciájával, így érhető el az, hogy a transziens jelenséget megfelelően kövesse. A rezonancia frekvencia a Thomson képlet segítségével számítható:

$$\frac{1}{2\pi \sqrt{\beta Z_2 T_2 \alpha \frac{T_2}{Z_2}}} = \frac{1}{2\pi T_2 \sqrt{\alpha \beta}} = \frac{1}{4T_2} = f$$

Ez akkor teljesül, ha a $2 \cdot \pi \cdot T_2 \cdot \sqrt{\alpha \cdot \beta} = 4 \cdot T_2$, tehát $\sqrt{\alpha \cdot \beta} = \frac{4}{2\pi} = 0.4$

$$C = T/Z$$

$$L = T \cdot Z$$

Rezgőkörös szimuláció szorzóinak különböző megválasztási módjai:

1. $q = \frac{b}{\alpha} + \frac{1}{\alpha\beta}$, q legyen minimum →

$$\alpha = \frac{2}{\pi} \sqrt{ab} \quad \text{és} \quad \beta = \frac{2}{\pi} \frac{1}{\sqrt{ab}}$$

2. Fenti két formula nem ad használható eredményt akkor, ha a vezeték egyik végén rövidrezárt, és/vagy másikvégén nyitott. Ezekben az esetekben az alábbi szabályok alkalmazhatók:

$$Z_1=0 \text{ esetén } \alpha=0.5 \text{ és } \beta=0.81$$

$$Z_3=\infty \text{ esetén és } \alpha=0.81 \text{ és } \beta=0.5$$

3. A referencia kapcsolás (rezgőkör) veszteségeit elhanyagolva:

$$\alpha\beta = \frac{4}{\pi^2} \approx 0.4$$

Ha tehát a rezgőkör induktivitását azonosnak vesszük az AB vezeték induktivitásával,

$$\rightarrow \alpha = 1 \rightarrow \beta = 0.4$$

Ha az AB vezeték kapacitív jellegű és a fiktív reflexiós koefficiens rezgőkörrel való szimulációt kíván

$$\rightarrow \beta = 1 \rightarrow \alpha = 0.4$$

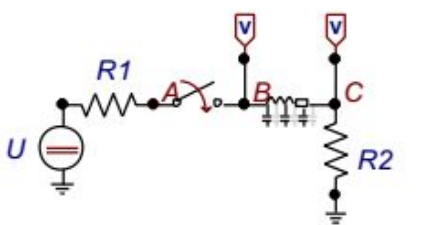
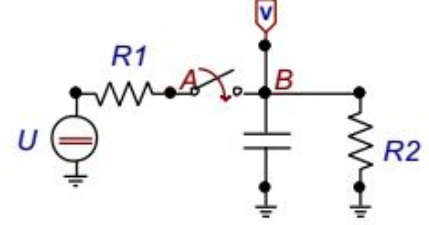
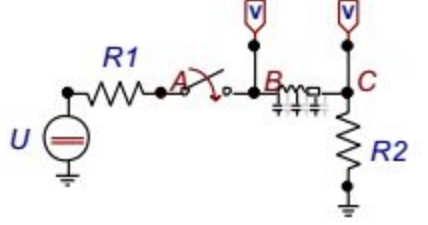
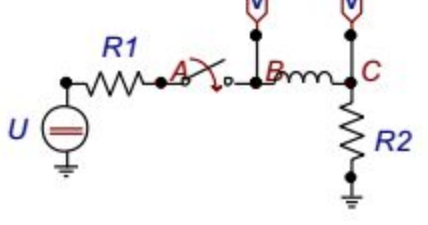
Kiterjesztés tetszőleges jelalakra: (Következmény)

1. Amennyiben a hálózat valamely pontjára a hálózaton, illetve a referenciakörben kialakuló, megfelelő (feszültség-, illetve áram-) görbéket egymásra rajzoljuk, a referenciakör folyamatos görbéi a hálózat lépcsős görbéit minden lépcsőben legalább kétszer metszik. Ez a megállapítás azért fontos, mert tulajdonképpen azt mondja ki, hogy a referenciakör görbéje nem távolodhat el lényegesen a hálózat által produkált görbétől.
2. A hálózat valamely pontjára felrajzolt hálózati, illetve referenciaköri görbék úgy metszik egymást, hogy a két görbe közötti, előjelesen vett területek $2T_2$ időintervallumon belül kiegyenlítik egymást. Ennek a megállapításnak az a fizikai jelentése, hogy bár a vezeték egyes pontjaihoz a sorozatos visszaverődésekből származó elemi hullámok ugrásszerűen szállítanak töltést, a referenciakör elemei viszont folyamatosan kapják a töltést, s így a kétféle töltésmennyiség $2T_2$ időintervallumokra vett értéke azonos. A referenciakörök különböző hullámalakokra való használhatósága szempontjából a fenti megállapítás azt sugallja, hogy a referenciakör által szolgáltatott görbe annál jobban eltér a hálózati görbétől, minél nagyobb a vezetéken haladó hullám változása a vezeték befutási ideje alatt, vagyis minél rövidebb a hullám hossza a vezeték hosszánál.

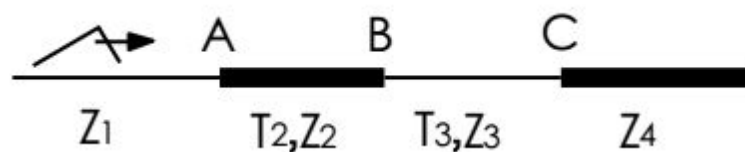
A leírtak szerint rövid impulzus és hosszú vezeték esetén a referenciakör nem ad helyes tájékoztatást. Ugyanakkor a gyakorlatban előforduló vezetékhozzak és a legfeljebb 10kHz nagyságrendű frekvenciákat tartalmazó kapcsolási hullámok okozta tranziensek elemzésére a referencia-áramkörökkel jól használhatók.

Példa:

A vezeték hullámellenállása:	$Z=500 \Omega$
hossza:	$l=300 \text{ km,}$
befutási ideje:	$T=1 \text{ ms}$

 <p style="text-align: center;">a.)</p>  <p style="text-align: center;">b.)</p>	 <p style="text-align: center;">a.)</p>  <p style="text-align: center;">b.)</p>
<p>A két határoló ellenállás: $R1=2000 \Omega$, illetve $R2=3000 \Omega$</p> <p>$Z1=R1$ és $Z2=Z$ és $Z3=R2$ $Z1>Z2<Z3 \rightarrow$ sönt kapacitás</p> <p>A referencia kondenzátor értéke: $C=T/Z2=2\mu F$</p>	<p>A két határoló ellenállás: $R1=50 \Omega$, illetve $R2=100 \Omega$</p> <p>$Z1=R1$ és $Z2=Z$ és $Z3=R2$ $Z1<Z2>Z3 \rightarrow$ soros induktivitás</p> <p>A referencia induktivitás értéke: $L=T*Z2=500 \text{ mH}$</p>

8. Több véges hosszúságú vezeték tartalmazó hálózat referencia-kapcsolásának kialakítása, példával alátámasztva



Ha $T3>T2$, akkor úgy vehető, hogy $T3=\infty$.

Ha $T3<T2$, akkor a következő kompromisszumot alkalmazhatjuk:

AB vezeték referenciakörét első lépésben úgy alakítjuk ki, ahogyan A és B ponti reflexiós koefficiensek megkövetelik. Utána módosítjuk annak érdekében, hogy a referenciakör a $Z2/Z4$ aránynak is megfeleljen. Eszerint kreálunk egy fiktív reflexiós együtthatót:

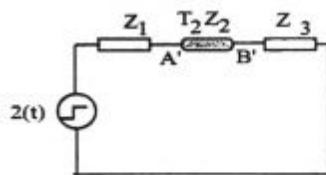
$$\rho_{24} = \frac{Z_4 - Z_2}{Z_4 + Z_2} \quad (\text{táblázatban } \rho_{12})$$

Ebben ez esetben használható az alábbi táblázat:

$\rho_{21} \rho_{23} > 0$				$\rho_{21} \rho_{23} < 0$			
$\rho_{23} > 0$		$\rho_{23} < 0$		$\rho_{23} > 0$		$\rho_{23} < 0$	
$\rho_{12} > 0$	$\rho_{12} < 0$	$\rho_{12} > 0$	$\rho_{12} < 0$	$\rho_{12} > 0$	$\rho_{12} < 0$	$\rho_{12} > 0$	$\rho_{12} < 0$
	$\beta = 0,4$	$\alpha = 0,4$		$\alpha = Z_2/Z_1$ $b = Z_2/Z_1$	$\alpha = 0,4$	$\beta = 0,4$	$\alpha = Z_2/Z_1$ $b = Z_2/Z_1$

Példa:

- $Z_1 = 10 \text{ Ohm}$
- $Z_2 = 100 \text{ Ohm}$
- $Z_3 = 30 \text{ Ohm}$
- $Z_4 = 150 \text{ Ohm}$



$Z_1 < Z_2 > Z_3 \rightarrow$
 $L = T_2 * Z_2$

$Z_1 < Z_2 > Z_3$, tehát induktivitással helyettesíthető, ahol

Ezután a referenciakört úgy egészítjük ki, hogy az mind ρ_{21} , mind ρ_{23} , mind pedig ρ_{24} visszaverődési együtthatók által megszabott követelmények tendenciájának lehetőleg egyaránt eleget tegyen.

$$\rho_{21} = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2}, \quad \rho_{23} = \frac{Z_3 - Z_2}{Z_3 + Z_2}, \quad \rho_{24} = \frac{Z_4 - Z_2}{Z_4 + Z_2}$$

Behelyettesítve, ekkor:

$$\rho_{21} = -0,81 < 0$$

$$\rho_{23} = -0,54 < 0$$

$$\rho_{24} = 0,2 > 0$$

tehát a táblázat alapján:



$\alpha = 0,4$, ahol

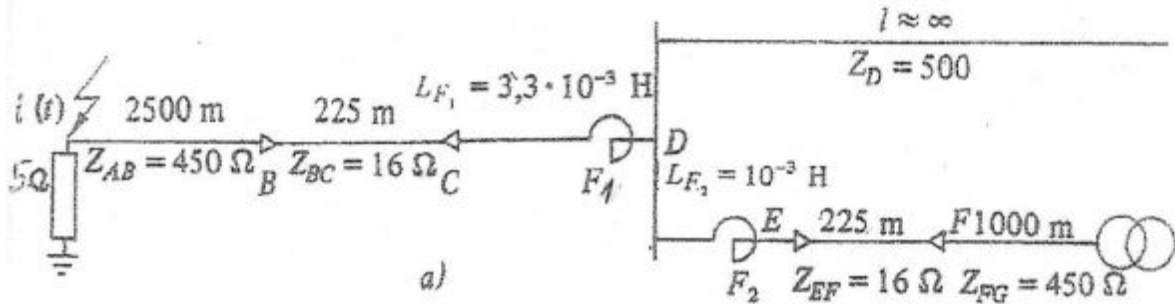
$$C_2 = T_2/Z_2 \text{ és } a = C * C_2$$

9. Koncentrált induktivitást, illetve kapacitást tartalmazó hálózat referenciakapcsolásának kialakítása, példával bemutatva

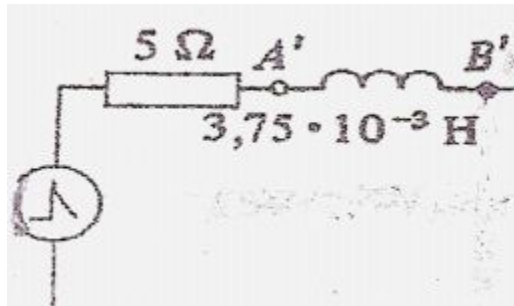
- Ilyen hálózati konfiguráció esetén ajánlatos a szóbanforgó, koncentrált komponenst átmenetileg vezetékké alakítani.
- Célszerű a koncentrált komponenst helyettesítő vezetéket a vizsgált vezetékkel egyenlő, vagy hosszabb befutási idejűre választani.

- A koncentrált komponens helyettesítő vezeték hullámellenállása egyszerűen informál bennünket arról, hogy a valódi vezeték referencia-áramköre miképpen alakítandó ki.

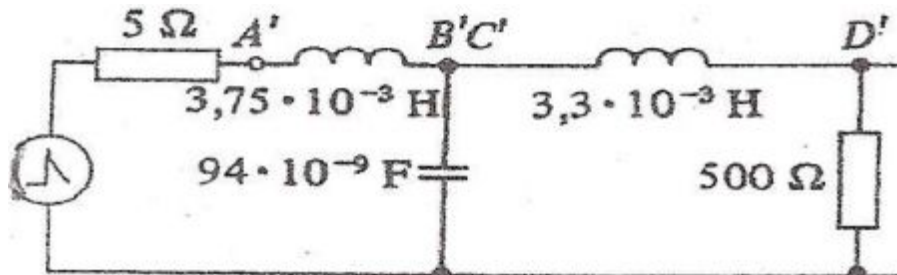
Példa:



- $BC < AB$ -nél \rightarrow AB szakasz helyettesítésébe a C ponti reflexiók is beleszólnak. A 3.3 mH induktivitású fojtótekercset AB-vel azonos, vagy annál hosszabb vezetékké alakítjuk:
 - $T_{AB} = (2500\text{m}) / (300\text{m}/\mu\text{s}) = 8.33 \mu\text{s}$.
 - Ezzel $Z_{F1} = L_{F1} / T_{AB} = 400 \text{ ohm} < 450 \text{ ohm}$.
 - Ennélfogva AB szakasz induktív jellegű:
 - $L_{AB} = Z_{AB} \cdot T_{AB} = 450 \cdot 8.33 \cdot 10^{-6} = 3.75 \cdot 10^{-3} \text{ H}$
- 5 Ohm: ívellenállás



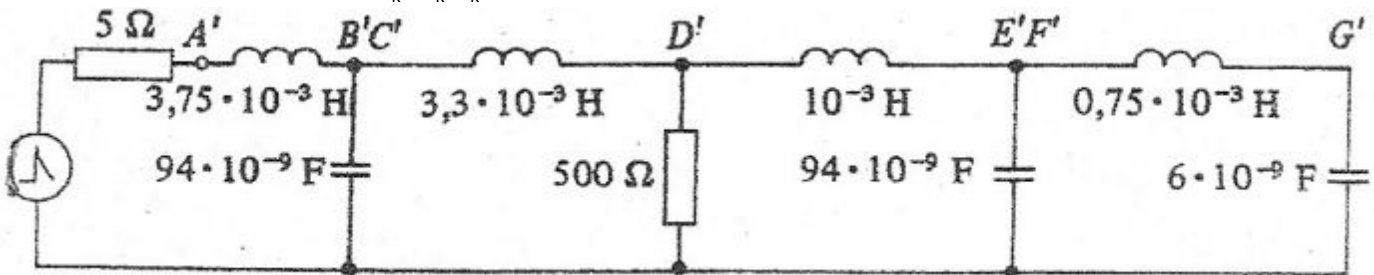
- BC kábel rövid, hullámellenállása kicsi (a mellette levőkhöz képest)
 - Helyettesítése: kapacitással:
 - Kábelen a terjedési sebesség: 150 m/us
 - $T_k = (225\text{m}) / (150\text{m}/\text{us}) = 1.5 \mu\text{s}$
 - $C_k = T_k / Z_k = 1.5 \mu\text{s} / 16 \text{ Ohm} = 94 \text{ nF}$
- Az L_{F1} fojtó helyettesítése egy azonos értékű induktivitás
- D ponton két leágazás van:
 - Az 500 ohm hullámellenállású, végtelen hosszú vezeték megfelelője egy 500 Ohmos sönt



- A másik ágon:
 - FG vezeték helyettesítéséhez szükséges az F2 fojtó tekercs impedanciája:
 - $T_{FG} = (1000\text{m}) / (300\text{m}/\text{us}) = 3.33 \mu\text{s}$
 - $Z_{F2} = L_{F2} / T_{FG} = 1\text{mH} / 3.33 \mu\text{s} = 300.3 \text{ Ohm}$
 - Az FG vezeték lezárása egy transzformátor, amely nagy impedanciás lezárást jelent:
 - $Z_3 = Z_{tr} \sim 10\text{kOhm} \rightarrow$ tekinthető végtelennek!

- Így a helyettesítő képe egy LC rezgőkör:
 - $Z_3 = \infty$ esetén és $\alpha = 0.81$ és $\beta = 0.5$
 - $L' = \beta * L = \beta * T_{FG} * Z_{FG} = 0,5 * 3.33 \text{ us} * 450 \text{ Ohm} = \mathbf{0,75 \text{ mH}}$
 - $C' = \alpha * C = \alpha * T_{FG} / Z_{FG} = 0,81 * 3.33 \text{ us} / 450 \text{ Ohm} = \mathbf{6 \text{ nF}}$
- EF kábel két nagy impedanciájú kábel között van, ezért sönt kondenzátorral helyettesíthető:

- Kábelen a terjedési sebesség: 150 m/us
- $T_k = (225 \text{ m}) / (150 \text{ m/us}) = 1,5 \text{ us}$
- $C_k = T_k / Z_k = 1,5 \text{ us} / 16 \text{ Ohm} = 94 \text{ nF}$



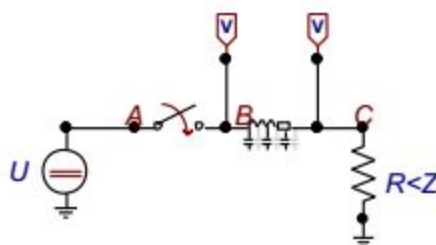
10. Hogyan lehet információt kapni a vezeték belső, (a diszkontinuitási pontok közötti) pontjain a tranziens során kialakuló feszültségek és áramokról a Bergeron, Bewley módszerrel, vagy referencia-kapcsolással való számítás esetén?

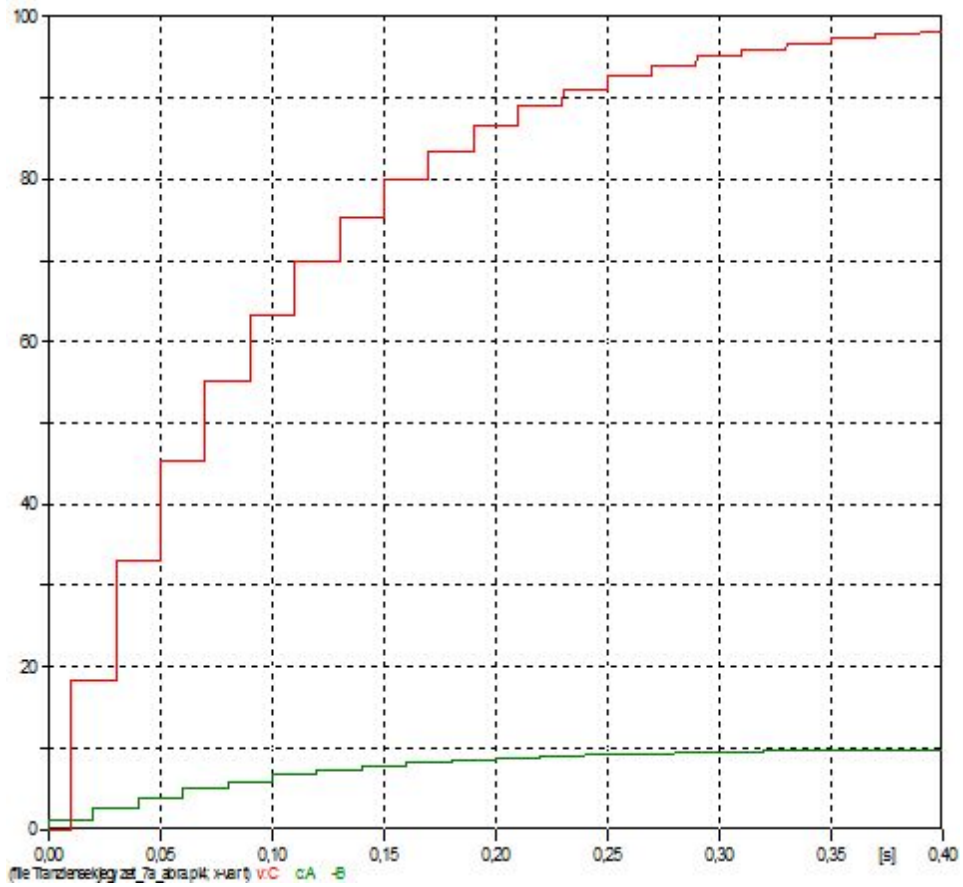
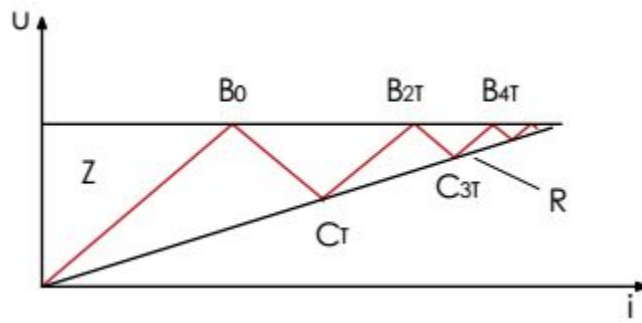
- Bergeron:
 - Nagyon sehoggy
- Bewley:
 - Ennél ugye a hullámokat időben ábrázoljuk. Így az A és B pontok között ahol kíváncsiak vagyunk a U vagy I értékekre, akkor abba a pontba behúzzunk egy másik idő-tengelyt, és az ott fellelhető részhullámok szuperpozíciója adja a megoldást.
- Referencia -kapcsolás:
 - ha C, akkor az elején és a végén kb. ugyan az a feszültség, ezért közben sem lehet nagyon más
 - ha L, akkor ahogy közeledünk az kívánt ponthoz, úgy nő az értéke (lineárisnak vehető?)
 - ha LC, akkor ott lengés lesz, olyan frekvenciával, mint az eredeti frekvencia (ez nem biztos)

11. Távvezeték be- és visszakapcsolása során lezajló tranziens folyamatok bemutatása. Az egyes tranziensek hatásának, jelentőségének ismertetése, a folyamatok befolyásolhatósága

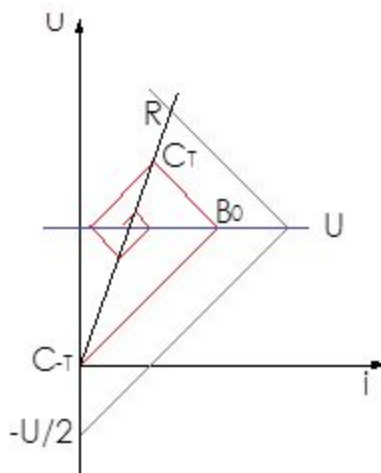
R ellenállással terhelt, Z hullámellenállású és T befutási idejű vezeték t=0 pillanatban való bekapcsolása:

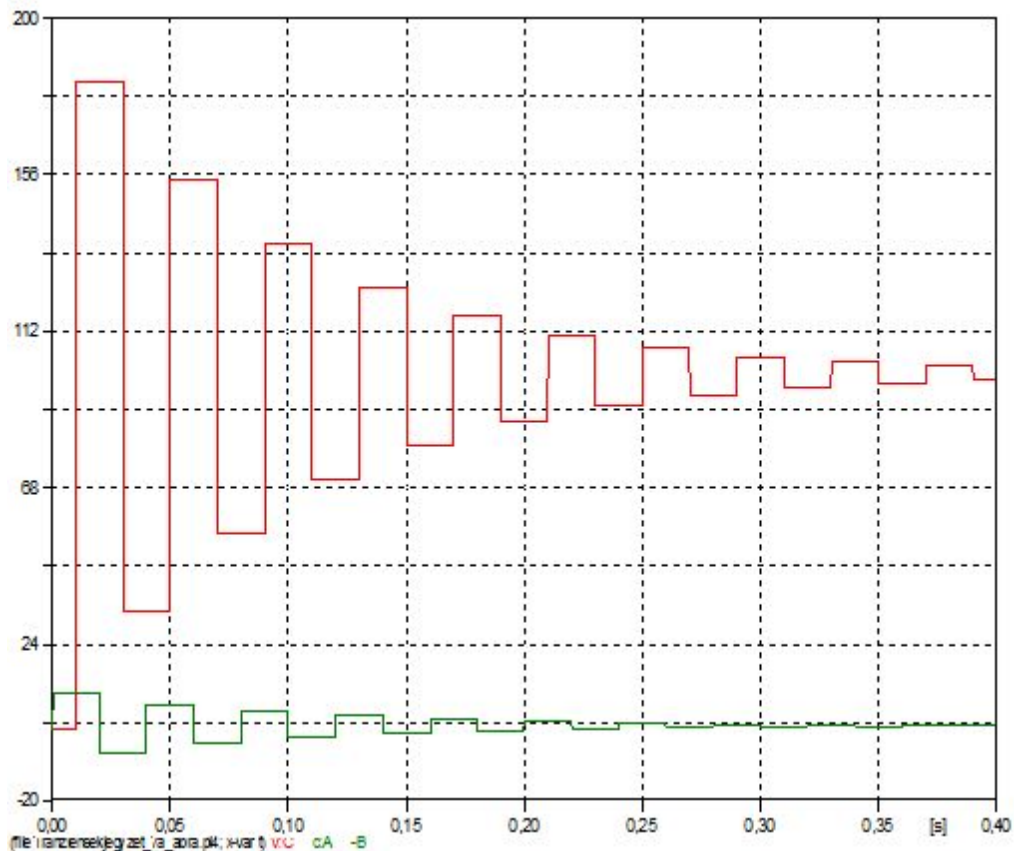
I. eset: $R < Z$





II. eset: $R > Z$





III. eset: $R=Z$

Az $R=Z$ esetben a szerkesztés a B0 pontnál megreked: a további B és C pontok egyaránt ezen ponttal esnek egybe. Ez a körülmény tükrözi azt, hogy hullámmellenállásával lezárt, tehát végtelenített vezetéken nincs tranzienst folyamat.

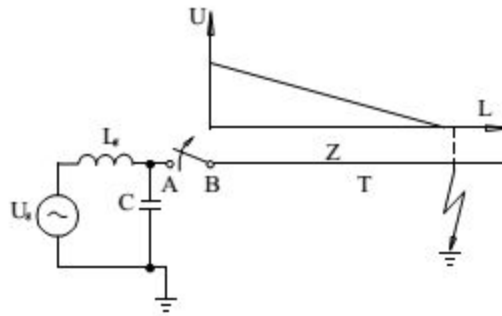
Befolyásolhatósága:

- A legnagyobb feszültség mindig a nyitott vezetékvégen keletkezik
- 2 p.u.-t meghaladhatja a túlfeszültség maximuma, ha automatikus visszakapcsolásnál a visszamaradó feszültség és a tápoldali gyűjtősin feszültségének a visszakapcsolás pillanatában fennálló polaritása ellentétes.
- Növelheti a visszakapcsolási túlfeszültséget:
 - a távvezetékbe iktatott soros kondenzátoron visszamaradó túlfeszültség
 - a vonali megszakító visszagyújtása kikapcsolásnál
 - a söntkompenzálás, mert az ép fázis(ok)ban visszamaradt töltésnek a söntfójtókon keresztüli kisülése oszcilláló, nagy amplitudójú visszamaradó feszültséget eredményez

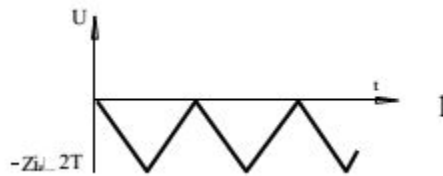
12.Kapocszárlat, valamint a kistávolságú zárlat tisztázásának tranzienst folyamata. A távolsági zárlat során fellépő tranzienst jelentősége, kapcsolóberendezés igénybevételek

Kistávolságú zárlat:

A „kistávolságú zárlatok” kifejezésen a megszakítóhoz közeli zárlatokat (short line faults) értik. Az üzemi tapasztalatok szerint néhány km-es zárlati távolságok esetén a kikapcsolás nagyobb feladatot jelent a megszakítóra, mint a kapocszárlat megszakítása. Ennek oka a következő példával illusztrálható:



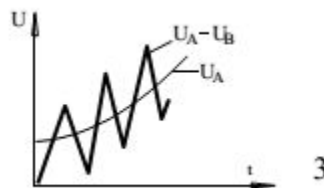
- A kis távolság miatt a söntkapacitás elhanyagolható, emiatt a feszültség lineáris változásúnak tekinthető ezen a szakaszon
- A megszakítás pillanatában B pont feszültsége maximális, a lekapcsolt vezetékszakasz induktív terhelésként jelenik meg.
- Az megszakítón kialakuló I_z zárlati áram helyére beinjektálandó cancellation wave időfüggvénye : $i_i = -I_z \sin(\omega t)$
- A feszültség időfüggvénye: $U_i = -I_z Z \sin(\omega t)$
- Mivel a szakasz rövid, ezért a szinusz helyettesíthető a radiánértékkel, így a feszültségfüggvény: $U_i = -I_z Z \omega t$, ami egy állandó meredekségű lineáris függvény.
- Megkonstruálva a Bewley rácshálót, valamint kiolvassa B pont feszültségértékét, az alábbi ábrát kapjuk:



- Ezt szuperponálva a B pont transziens előtti, állandósult feszültség értékére az alábbi ábrát kapjuk:



- A visszaszökő feszültség ennek és az A pontban a földhöz képest mért kisebb frekvenciájú transziens feszültségnek a különbsége:

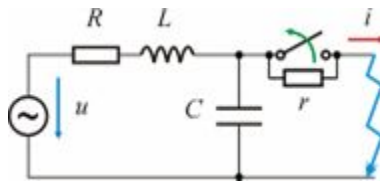


Kistávolságú zárlat esetén a visszaszökő feszültség kezdeti szakaszán a meredekség lényegesen nagyobb, mint kapocszárlat esetén lenne, mivel a távvezeték induktivitása megnöveli ezt a feszültséget. Ez a megszakító termikus visszagyújtásának veszélyét jelenti. Amennyiben a zárlati távolságot növeljük, a fűrészfogak időtartama megnő, ami az amplitúdó növekedése irányában hat.

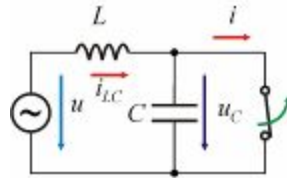
Másrészt a zárlati távolság növekedése a zárlati áramot, s így az injektálandó feszültség hullám meredekségét csökkenti, ami a fűrészfogak amplitúdóját is mérsékel. A két ellentétes hatás következtében a termikus visszagyújtás veszélyének szélsőértéke (maximuma) van, ami általában 3-5 km távolság közé esik.

Kapocszárlat:

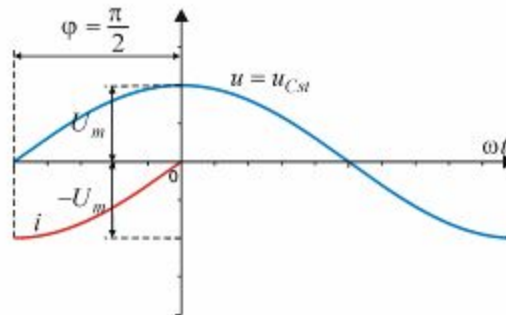
Kapocszárlatnak nevezzük azt, amikor a zárlat a megszakító kapcsain keletkezik, szimulálni a következő modellel lehet:



Nagyfeszültségű kapocszárlathoz az alábbi egyszerűsítéseket tehetjük meg: $R=0$



A megszakító nullátmenetnél szakítja meg a zárlati áramot. A kialakuló tranziens feszültsége tulajdonképpen a C kapacitás feszültsége lesz, melynek időfüggvénye az alábbi ábrán látható:

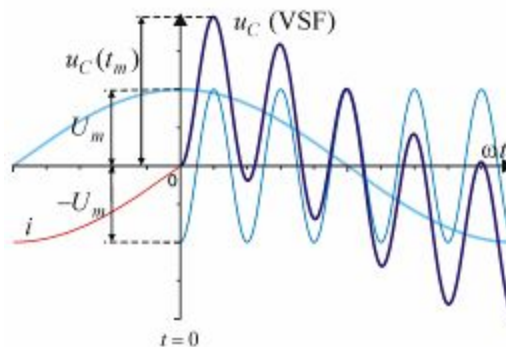


Ezt a feszültséget nevezzük visszatérő feszültségnek, mivel lassan tér vissza az érintkezők közé.

A kondenzátor feszültsége az alábbi képlettel írható le:

$$u_C(t) = u_{Cst}(t) + u_{Ctr}(t),$$

Ahol u_{Cst} a visszatérő feszültség, az u_{Ctr} pedig az egyfrekvenciás független visszaszökő feszültség (VSF). Az alábbi ábrán látható a teljes tranziens jelalak.



13.A távvezeték veszteségeinek (sodrony ellenállás, földben való hullámterjedés), illetve a sugárzásnak a hatása a hullámterjedés folyamatára

A hullámterjedésre az alábbi veszteségek lehetnek hatással:

- a vezetősodronyok ellenállása,
- a szigetelők levezetése,
- a föld véges vezetőképessége,
- a sugárzás.

A vezetősodrony ellenállása és a szigetelők levezetése:

	Töltőteljesítmény	Veszteség	A hullám csillapodása
Feszültség hullám	$P_C = \frac{dW_C}{dt} = \frac{1}{2} C' u^2 v.$	$P_G = G' y u^2.$	$u = u_0 e^{-\frac{G'y}{C'v}} = u_0 e^{-\frac{G't}{C'}}$
Áram hullám	$P_C = \frac{dW_L}{dt} = \frac{1}{2} L' i^2 v.$	$P_R = R' y i^2.$	$i = i_0 e^{-\frac{R'y}{L'v}} = i_0 e^{-\frac{R't}{L'}}$

$R'/L'=G'/C'$ esetén a hullámellenállás ohmos, ettől eltérő esetekben pedig frekvenciafüggő. Erősáramú távvezetésekre a $R'/L'=G'/C'$ egyenlőség nem teljesülhet. Ennek oka az, hogy a távvezetékek levezése tranziensek ideje alatt gyakorlatilag zérus. Ezért az erősáramú vezetéseken a vándorhullámok alakja torzul. A torzulás folyamatáról egyszerű képet alkothatunk, ha a veszteséges távvezeték gondolatban szakaszokra bontjuk, és minden szakaszt veszteségmentes vezetékkel és azzal sorba kapcsolt ellenállásból állónak képzelünk el. A Z hullámellenállású, veszteségmentes vezeték balról érkező feszültség hullám az A ponton visszaverődik, és mert $R+Z>Z$, a visszavert hullám polaritása a beérkezővel azonos lesz.

Ez a következmény jár, hogy a hullám alakok a vezeték szakaszon áthaladva torzulnak, az u/i hányados (vagyis a hullámellenállás) folyamatosan változik. Ez alól kivétel azon eset, amikor a két hatványkitevő azonos, vagyis $R'/L'=G'/C'$, amiből $R'/G'=L'/C'=u^2/i^2$;

A kitevők azonosságának feltétele szerint:

$$u^2 G' = i^2 R'$$

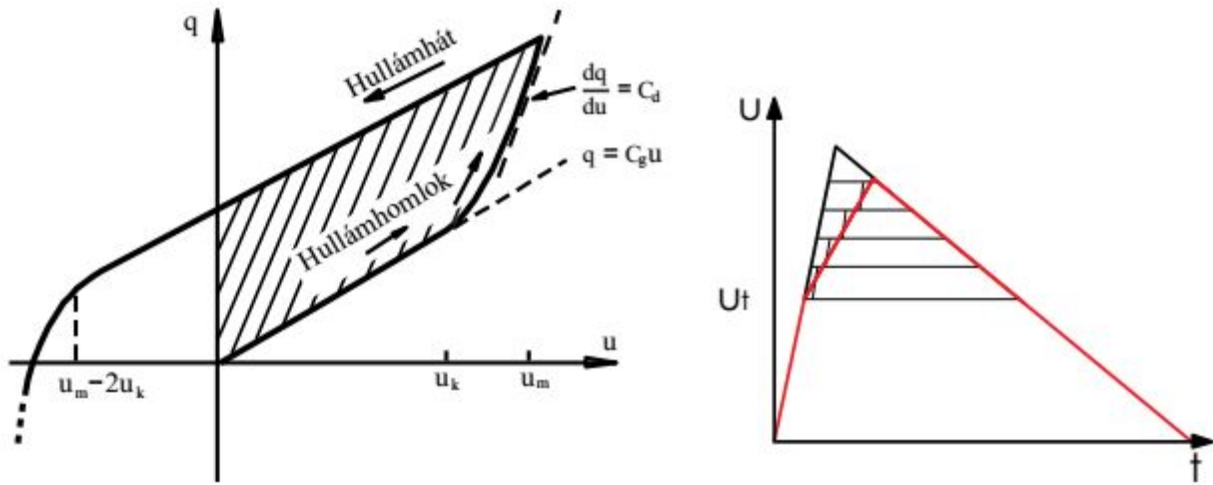
Ennek a feltételnek megfelelő vezeték torzításmentesnek nevezik.

Hasonló feltétel adódik a hullámimpedancia komplex kifejezéséből is:

$$Z = \sqrt{\frac{R'+j\omega L'}{G'+j\omega C'}} = \sqrt{\frac{L'}{C'} \frac{\sqrt{\frac{R'}{L'}+j\omega}}{\sqrt{\frac{G'}{C'}+j\omega}}}$$

Sugárzás:

Amikor a távvezeték haladó hullám feszültsége eléri, majd meghaladja a sugárzási küszöbfeszültséget, a vezető körül intenzív ionizációs folyamat alakul ki. A koronaburok nem befolyásolja a vezető induktivitását, ezzel szemben erőteljesen megnöveli a kapacitását. Amikor a vezeték valamely pontján a maximális hullámfeszültséget követő hullámhát halad át, akkor az ott levő vezeték sönt kapacitásoknak töltést kell leadnia. A vezetővel azonos polaritású töltéseket a vezető taszítja, ezért azok a hullám hátán is távolodnak a vezetőtől. Így a koronaburok töltése nem nyerhető vissza, vagyis a hullámhátan ismét a geometriai kapacitás érvényesül. Monopoláris, nem oszcilláló hullám esetén a bal oldali ábra vonalkázott területe a koronavesztésre jellemző. A jobb oldali ábra a vezeték kapacitás fenti, sajátsejős alakulása miatti hullámtorzulást mutatja.

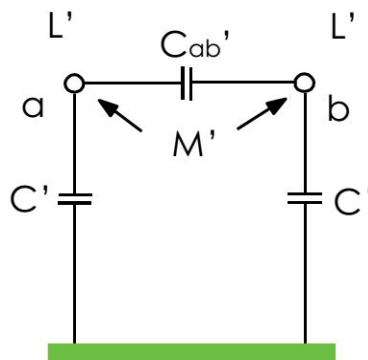


A sugárzás hatásai a hullámfolyamatokra

- A sugárzás feszültségfüggően csökkenti a vezeték hullámellenállását.
- A sugárzás feszültségfüggően csökkenti a hullám terjedési sebességét. Ezért a hullám homlokát torzítja.
- A hullámalaktól függően csökkenti a hullám csúcsértékét.
- A koronaburok létrejötte, vagyis a kezdeti feszültség erősen függ a sodrony állapotától (korától) és az időjárástól.
- Ezért nem egyszerű feladat a tranziensek számításánál a sugárzást tekintetbe venni (elhanyagolják, vagy becsülik a sugárzás hatását).

14. Többvezetős (kétvezetős) távvezetéken lezajló hullámterjedés sajátosságai és legfontosabb jellemzői. Mi az egyvezetős rendszerbeli terjedéstől való eltérés fizikai oka? Modusok fogalma, hatásuk két vezető - föld rendszerben. A kétvezetős rendszerre kapott eredmények n vezetőre való kiterjesztésének lehetősége

Hullámterjedés sajátosságai és legfontosabb jellemzői:



Kétvezetős rendszer esetén a vezetők egymással kapcsolatban vannak, hatással vannak egymásra. Ezt a kapcsolatot szemlélteti a C_{ab}' átvezető kapacitás, valamint az M' kölcsönös induktivitás. Ezek mellett mindkét vezetőknek megvan a saját L' induktivitása és C' földkapacitása.

A differenciál egyenletek megoldása után azt kapjuk eredményül, hogy egy ilyen rendszerben két különböző amplitudójú hullámpár fut végig a távvezetéken két egymással ellentétes irányba. Ezen hullámpárok sebességét az alábbi képlettel számítható ki:

$$v_{1,2} = \pm \frac{1}{\sqrt{C'(L'+M')}}$$

$$v_{3,4} = \pm \frac{1}{\sqrt{(C'+2C'_{ab})(L'-M')}}$$

Ezek az egyenletek arra utalnak, hogy a két vezetőkben bármely helyen a fázisfeszültségek és áramok megegyeznek, mivel $V_{1,2}$ ben nem szerepel C_{ab} , valamint M és L azonos előjelűek. Az ilyen csatornában a hullámpár másik komponense csak a földben haladhat, **föld modulusnak** nevezik. A $V_{3,4}$ képletében szerepel $C+2C_{ab}$, valamint L és M ellentétes előjelűek, ezért ez a hullám egyik komponense az egyik, a másik komponense pedig a másik vezetőkben halad, ez csupán csak a fázisvezetőket veszi igénybe, ezért **vezető modulusnak** hívjuk.

Az eddigiek alapján úgy rekonstruálható a két vezető-föld rendszerben való hullámterjedés, hogy a tranziens kiváltó hatás helyén kialakuló fázisfeszültségek modusbeli (modális) hullámpárokra bomlanak, amelyek különböző sebességgel terjednek saját modulusukban. A föld modulusban lassabb a terjedés, ami természetesnek tűnik arra gondolva, hogy a vezető-föld hurok inductivitása sokkal nagyobb, mint a két vezető által alkotott huroké. A vezető modulus sebessége 280–300 km/ms, a föld modulusé 220-230 km/ms határok közé esik.

Fázisfeszültségek modális hullámokra bomlása

Kapcsoljunk két, szimmetrikusan elhelyezett fázisvezető közé U feszültséget, akkor a két vezetőkön $\frac{1}{2} U$ és $-\frac{1}{2} U$ feszültség jelenik meg a földhöz képest. A modális hullámok meghatározása az alábbi egyenletből történhet:

$$U_a = U_0 + U_1$$

$$U_b = U_0 - U_1$$

Jelen esetben mindkét $U_0 = 0$, mivel nincs föld modulus ilyen esetben.

Ha a és b vezetőkre U feszültséget kapcsolunk a földhöz képest, akkor a két egyenlet megoldásából $U_0 = U$, $U_1 = 0$.

Ha a vezetőkre U feszültséget kapcsolunk, b vezetőket pedig leföldeljük, akkor az alábbi megoldást kapjuk: $U_0 = U/2$, $U_1 = U/2$

Hullámellenállások többvezetős rendszerben

Kétvezetős, szimmetrikus rendszer valamelyik fázisvezetőjének bemeneti hullámimpedanciáját az alábbi egyenletrendszerből számíthatjuk:

$$u_a = i_a Z_{aa} + i_b Z_{ab}$$

$$u_b = i_a Z_{ab} + i_b Z_{aa}$$

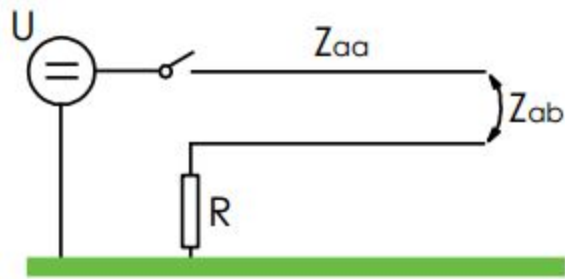
A Z_{aa} az a vezető saját hullámellenállása, a Z_{ab} pedig a kölcsönös hullámellenállás. Értékük a következő formulával számítható:

$$Z_{aa} = 138 \lg \frac{2h_a}{r_a},$$

$$Z_{ab} = 138 \lg \frac{f_{ab}}{g_{ab}},$$

Ahol h_a az a vezető föld feletti magassága, r_a a sodrony sugara, f_{ab} az a vezető távolsága a b vezető tükörképétől, g_{ab} pedig a két vezető közötti távolság.

Nézzük a következő elrendezést:



Az a fázisvezető feszültségét a rákapcsolt egyenfeszültség határozza meg, a b fázisát pedig az $I_b \cdot R$ feszültségésés, ezek alapján a következő egyenleteket kapjuk:

$$u_a = U = i_a Z_{aa} + i_b Z_{ab}$$

$$u_b = -i_b R = i_a Z_{ab} + i_b Z_{bb}$$

A bemeneti hullámellenállást az a vezetőre kapcsolt feszültség, és az a vezetőre folyó áram határozza meg, értéke kifejezhető a fenti két egyenletből:

$$Z_a = \frac{U}{i_a} = Z_{aa} - \frac{Z_{ab}^2}{Z_{bb} + R}$$

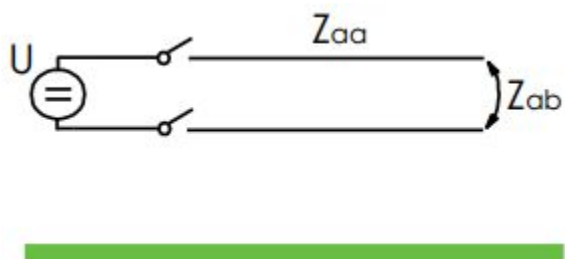
A b fázis csökkenti a bemeneti hullámimpedanciát R ellenálláson keresztül, minél nagyobb R értéke, annál kisebb lesz a bemeneti ellenállás. Ha $R = \infty$, tehát a b vezető szabadon lóg, akkor a bemeneti hullámellenállás értéke megegyezik, Z_{aa} -val, tehát nem befolyásolja a b fázis a hullámterjedést (rövid szakaszon, azonban nagy távolságok esetén már van hatása).

Ha $i_b = 0$, tehát nyitott a b fázisunk, akkor a következő egyenletet írhatjuk fel:

$$u_b = \frac{Z_{ab}}{Z_{aa}} u_a$$

Ahol Z_{ab}/Z_{aa} arány a két vezető közötti csatolási tényező.

Nézzük azt az esetet, amikor a két vezető közé U feszültséget kapcsolunk:



$$\frac{U}{2} = i_a \cdot Z_{aa} + i_b \cdot Z_{ab}$$

$$-\frac{U}{2} = i_a \cdot Z_{ab} + i_b \cdot Z_{bb}$$

Ezekből az egyenletekből kifejezhető a bemeneti hullámimpedancia:

$$Z_1 = \frac{U}{i_a} = Z_{aa} - Z_{ab}$$

$$Z_0 = Z_{aa} + Z_{ab}$$

15. Tekercselt hálózati berendezések (söntfojtók, transzformátorok, motorok állórész tekercse) tranziens feszültség-igénybevételei

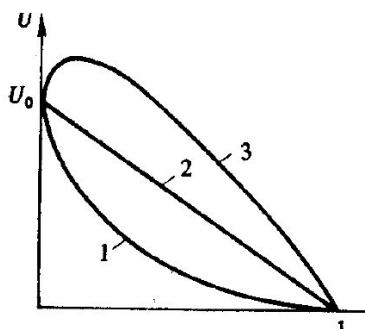
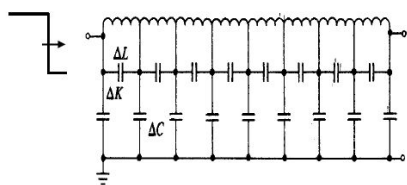
Tekercsekben lejátszódó tranziensek

Transzformátorok, feszültség- és áramváltók, generátorok és motorok, soros- és söntfojtók. Meghibásodásuk hosszú kiesési időket okozhat.

A menet- és tekercsrész szigeteléseket a túlfeszültségkorlátozók nem védik, ezen szigetelések átütése esetén rövidrezárt menetek keletkeznek, amelyekben igen nagy áramok alakulhatnak ki, tehát ez a jelenség üzemzavarra vezethet.

A menetszigetelések belső szigetelések, ezért általában nem regenerálódnak, így meghibásodásuk a kiesés mellett jelentős javítási költséget is okoz.

Kezdeti-, tranziens- és végállapot 1.



A földhöz képesti feszültség eloszlása a tekercselés mentén, földelt végpont esetében:
1-kezdeti eloszlás
2-végő eloszlás
3-tranziens eloszlás: a kiegyenlítő lengések burkológörbéje

A kezdeti eloszlást az

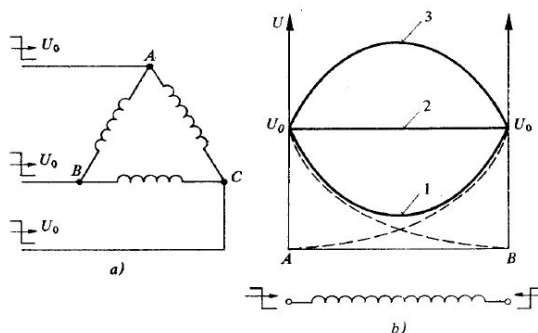
$$u = U_0 e^{-\alpha l}$$

függvény közelíti. Ebben $\alpha = \sqrt{C/K}$, a tekercselés típusának fontos jellemzője, l pedig a tekercselés menti pontok helykoordinátája.

Kezdeti-, tranziens- és végállapot 2.

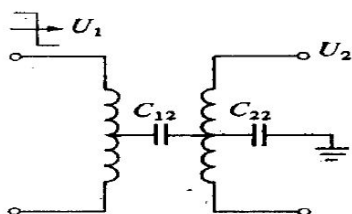
Hullámreflexió meredek homlokú hullám esetén: a tekercselés hatása $C=(C'K')^{1/2}$ nagyságú söntkondenzátoréval egyenértékű.

Feszültségeloszlás delta kapcsolású tekercselésben:



A földhöz képesti feszültség maximumai a tekercselések közepén alakulnak ki!

- A tekercselés viselkedése a behatoló hullám lassú változásának intervallumában (a hullámháton) vezetékéhez hasonló.
- Levágott hullám hatása a menetszigetelések igénybevételére.
- A kezdeti eloszlás okozta veszélyes igénybevételt csökkenti:
 - kábeles bevezetés,
 - a tekercsrészekkel parallel kapcsolt kondenzátor,
 - kevertmenetű tekercselés.

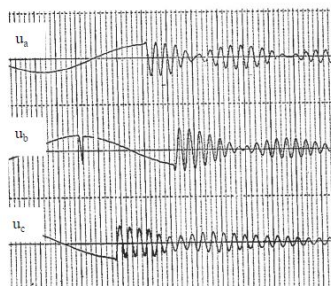


A vasmag mágneses jellemzői a meredek hullámhomlok idején nem érvényesülnek, mert az örvényáramok megakadályozzák a fluxusnak a vasba való hatolását. A mágneses tulajdonságok 6-10 μ s elteltével kezdenek szerepet játszani.

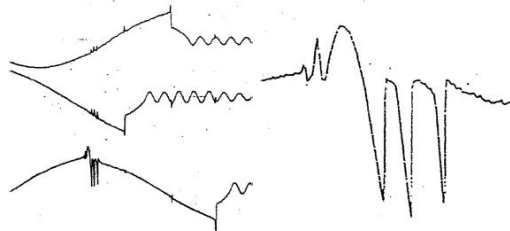
Meghibásodási kockázatra való tervezés?

Söntfojtók kikapcsolása

A megszakítás hasonló tranzienszt produkál, mint kistávolságú zárlat kikapcsolása a vezetéki oldalon! A lebegés oka a fázisok közötti csatolás a gyűjtősín-szakaszon (modális lengések különválása).



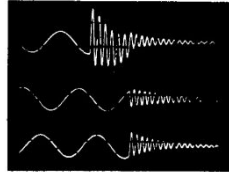
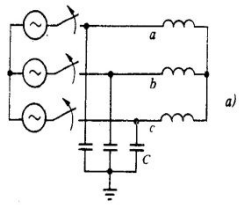
Kikapcsolás korszerű SF_6 oltóközegű megszakítóval



Kikapcsolás régebbi konstrukciójú, légnyomásos megszakítóval

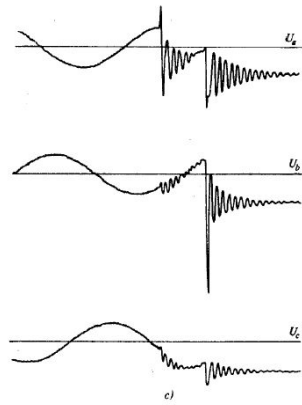
Vezérelt megszakító működtetés!

Motorok kikapcsolási tranziensei



Háromfázisú motorok kikapcsolási tranziense

a) helyettesítő kapcsolás; b) a tranziensek alakulása áramlevágás nélküli



A megszakító jelentős áramlevágást produkált az elsőnek megszakító a fázisban, ezért nagy oltási csúcs alakult ki.

A b és c fázisban – a viszonylag nagy kábelhossz, tehát nagy földkapacitás miatt nem azonos pillanatban történt a megszakítás: előbb b, majd pedig c fázisban következett be. Így b fázisban „negatív áramlevágás” történt, vagyis az áram a polaritásváltás után szakadt meg. Ez a viszonylag ritka jelenség 6.8 pu túlfeszültségcsúcsot eredményezett.