

Híradástechnika I. segédlet

Horváth Árpád

2012. november 29.

Az Óbudai Egyetem Moodle rendszerén (<https://elearning.uni-obuda.hu>) található meg ennek a segédletnek a legfrissebb változata, a tanári kézirat PDF-változata a *Tematika és követelményrendszer* képzésfajta szerint és egyéb elektronikus segédletek.

Az „3. dia” alakú sorszámok a Lukács–Mágel–Wühl: *Híradástechnika I.*, BMF KVK 2046, Budapest 2008 jegyzet diasorszámaira utalnak. Az ebből hivatkozott diák is a kötelező anyaghoz tartoznak.

Néha más könyvre is utalok. Az nem kötelező irodalom, de részletesebben utána lehet nézni bennük a témakörnek és az egyes egyenletek levezetésének.

Az alábbi ajánlott irodalomra való hivatkozást az első szerző megadásával jelezzük. Pl. „*Géher 126. oldal*” vagy „*Szász 122. oldal*”.

Ajánlott irodalom

Géher Károly (szerkesztő): *Híradástechnika*, Műszaki Könyvkiadó, Bp, 1993.

Házman István: *Távközlés*, LSI Oktatóközpont, Bp. 2001.

Szász Gábor – Kun István – Zsigmond Gyula: *Kommunikációs rendszerek*, LSI Oktatóközpont, 2000

Andrew S. Tanenbaum: *Számítógép-hálózatok*, Panem Kiadó, 2004 (ezzel, ha eddig nem, később valószínűleg találkozunk)

Walter Fischer: *A digitális műsorszórás alapjai*, Gyakorlati útmutató mérnökök számára, ORTT-AKTI, Bp. 2005.

Jákó Péter: *A digitális rádiózás*, ORTT-AKTI, Bp. 2010.

Távközlő hálózatok és informatikai szolgáltatások, on-line könyv http://regi.hte.hu/online_konyv

1. Jelek és osztályozásuk

1.1. Szükséges tudnivalók

Az Moodle-n található a „*Jelek spektruma, Fourier-transzformáció*” PDF-dokumentum. Az teljes egészében kötelező irodalom, csupán a diszkrét Fourier-transzformáció később kerül tárgyalásra általában.

7–20. dia – Géher 23–27. oldal

9. dia: periodikus jel helyesen. Egy jel periodikus, ha van olyan T (a periódus), melyre bármely t időpont esetén teljesül az $x(t) = x(t + T)$, azaz az ábra jelölésével: $x(t_1) = x(t_2) = x(t_3)$.

10. dia: A jelek spektrális felbontása periodikus jelek esetén $e^{j\omega_i t}$ alakú tagok együtthatós összegéből áll. Itt ebben minden előforduló frekvenciának (körfrekvenciának) az ellentettje is előfordul azonos amplitúdóval, csak így lehet az eredmény valós, ugyanis:

$$\begin{aligned} e^{j\omega_i t} + e^{j(-\omega_i t)} &= (\cos(\omega t) + j \sin(\omega t)) + (\cos(-\omega t) + j \sin(-\omega t)) = \\ &= (\cos(\omega t) + j \sin(\omega t)) + (\cos(\omega t) - j \sin(\omega t)) = 2 \cos(\omega t) \end{aligned}$$

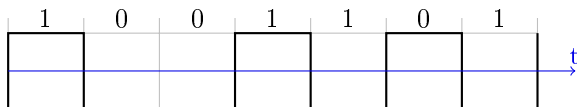
Ennek ellenére gyakran csak a pozitív és nulla együtthatókat szoktuk ábrázolni.

Nem kell mindenféle jel spektrumát ismerni, csak a sima szinuszosét és a négyszögjelét.

Az alapsávi jel: amikor nem rakjuk rá a jelet egy vivőre, hanem magát a jelet továbbítjuk nem növelve meg (jelentősen) a frekvenciáját, de esetlegesen valahogy kódolva, hogy az eredeti jel kedvezőtlen tulajdonságai eltűnjenek.

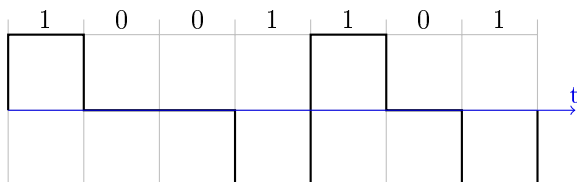
Ilyen kedvezőtlen tulajdonság lehet adatjelek (19. dia) esetén az (1) egyenáramú (DC) összetevő, mely a vezetékeken elveszhet, vagy hogy (2) hosszú állandó jelszintből nem lehet pontosan tudni, hogy 50 vagy 51 egymás utáni azonos jelszintem van, nehéz a szinkronizáció (3) a nagy egyenáramú (DC) összetevő esetén az állomások között nem lehet AC-csatolást létrehozni, azaz olyan kondenzátort vagy tekercset tartalmazó kapcsolást, amely az egyenszintet megszünteti.

A bipoláris kódolás esetén az 1-es bitnek $+V$ feszültség, a 0 bitnek $-V$ feszültség felel meg.



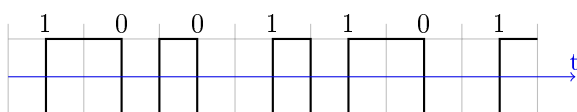
Bipoláris kódolásnál előfordulhat, hogy nagyon sokáig azonos szinten van a jel, ami nagy egyenszintű összetevőt jelent. Ha két vezeték között AC csatolás van, akkor ilyen hosszú egyenszint esetén a csatolás utáni szakaszban lényegében nullává válik a feszültség.

Az AMI (Alternate Mark Inversion) kódolás esetén a 0 bitnek mindig a nulla Volt felel meg, viszont az 1-es bitnek felváltva a $+V$ és a $-V$ feszültségszint. Tehát ez a kódolás három szintet tartalmaz.



<http://www.erg.abdn.ac.uk/users/gorry/course/phy-pages/ami.html>

A MANCHESTER (más néven WAL1) kódolásnál nem a feszültségszintek hordozzák az információt, hanem a közte történő átmenetek. 0 bit esetén felfele történik átmenet a bitidő felénél, 1-es bit esetén pedig lefele.



<http://www.erg.abdn.ac.uk/users/gorry/course/phy-pages/man.html>

Az AMI a 0 szintet 0 szintként adja tovább, az egy szintet váltakozva $+V$ illetve $-V$ szintként. Ez így nem ad megoldást arra, sok egymás utáni 0-ás szintű jelnél nem tudható hány nullát kaptam. Javítható úgy, hogy (2)-re is megoldást adjon. Ha például 3 egymás utáni nullás jel után a negyedikre $+V$ -t vagy $-V$ -t adunk, de nem olyan előjellel, ahogy soron következne, akkor megbontjuk a csupa nulla sorozatot, de tudni fogjuk, hogy nem 1-est továbbítottam.

<http://www.erg.abdn.ac.uk/users/gorry/course/phy-pages/hdb3.html>

<http://www.electronics.dit.ie/staff/amoloney/lecture-9.pdf> 25. diája

(Vonalis kódolás: olyan kódolás, amit a jelet vivő csatorna tulajdonságai miatt teszünk.)

1.2. Mintakérdések

1.1. feladat {1} Mit nevezünk sávhatárolt jelnek?

1.2. feladat {2} Hogyan kapjuk meg a beszédjelek átviteléhez szükséges bitsebességet? Hány mintát kell vennünk másodpercenként?

1.3. feladat {3} Milyen frekvenciatartományba esik a beszéd?

1.4. feladat {4} Hogyan kapjuk meg a színes kép átviteléhez szükséges bitsebességet? Hányszoros különbség van a tömörített és a tömörítetlen videojel mérete között?

1.5. feladat {5} Ismertesse a AMI vonalis kódolást és a MANCHESTER-kódolást! Melyiknek mi az előnye?

2. Modulációk

2.1. Szükséges tudnivalók

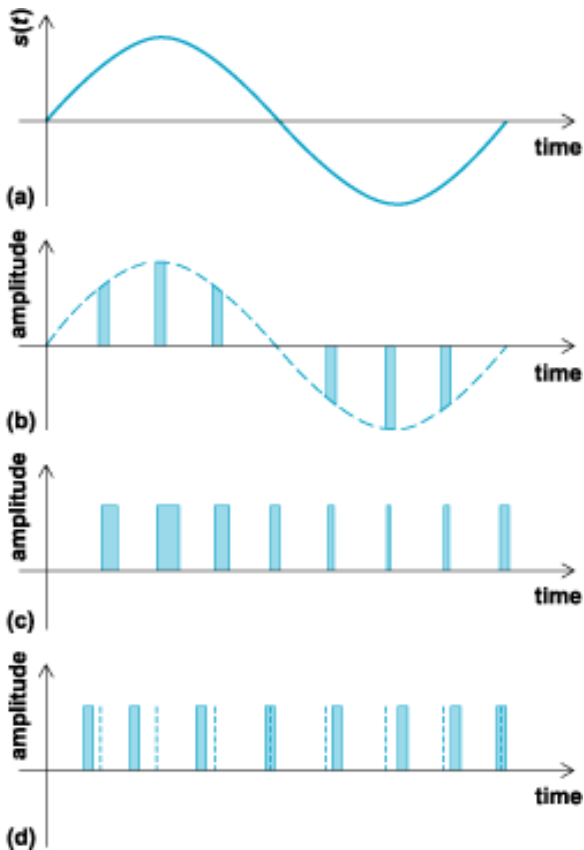
21–46. dia – Géher 125. oldal

A Lukács-féle tanári kézirat nyomtatott változatában néha keveredik a kis s és a nagy S . A Géher-szerkesztette könyvben a kicsi az időtartománybeli, a nagy a frekvenciatartománybeli függvényt jelöli. A PDF-változatban ezek javítva lettek.

21. dia – Szász ??? . oldal

A rövidítések feloldása:

- AM-DSB amplitúdómoduláció két oldalsávós (Amplitude Modulation - Double Side Band)
- AM-DSB/SC mint az előző, csak elnyomott vivővel (Suppressed Carrier)
- AM-SSB DSB helyett SSB (egy oldalsáv, Single Side Band)



1. ábra. Kódolhatunk egy adatot (b) az impulzus magasságával (amplitúdójával, PAM), (c) időtartamával (PDM) illetve (d) helyzetével (melyik pillanatban jön, PPM)

Mindegyik moduláció más-más előnnyel rendelkezik a többihez képest. Az AM-DSB demodulációja nagyon egyszerű, mivel egy egyenirányítás, és a nagyfrekvenciás tagok leszűrése elegendő a jel vételéhez.

Az AM-DSB/SC jel demodulálásához már szorzóáramkör szükséges. A jel visszaállításához ugyanis a modulált jelet szorozni kell a vivőjellel. Tehát a vivőjelet is elő kell állítani a vevőoldalon. Mivel azonban a vivőjelet nem kell kisugározni, kisebb teljesítménnyel tudunk ugyanolyan minőségű adást sugározni. Az energiaszámlánk kisebb lesz.

Az AM-DSB/SC jelet úgy kapom meg az AM-DSB-ből, hogy a moduláló jelhez nem adok egyen-összetevőt. Az alapsávi jelben nem lesz 0 frekvenciájú tag, így a moduláltban nem lesz kibocsájtott teljesítmény vivőfrekvencián.

Az AM-SSB esetén energiát nem spórolhatunk, mert ugyanolyan minőségű adáshoz azt a fél oldalsávot dupla akkora teljesítménnyel kell sugározni. Viszont nagyjából fele akkora sávszélesség elegendő a kisugárzásához.

Az AM-SSB jel előállítása egy sávszűrővel történik mellyel a felső vagy az alsó oldalsávot engedem át.

26. és 30. dia: Felhasználjuk az alábbi összefüggést:

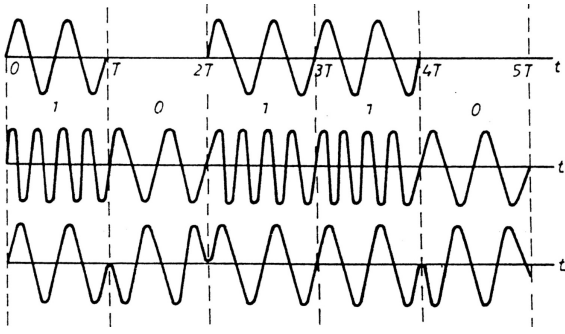
$$\cos \alpha \cdot \cos \beta = \frac{1}{2} \cos(\alpha + \beta) + \frac{1}{2} \cos(\alpha - \beta)$$

36. diáról a sávszélességre vonatkozó összefüggés nem kell.

38. dia: első képlet helyesen:

$$s_{\text{FM}}(t) = U_v \cos \left[\omega_v t + 2\pi k_{\text{FM}} \int_0^t s_m(\tau) d\tau \right] \quad (\omega_v = 2\pi f_v).$$

39. dia: Általában a digitális információ hordozására PAM-et (imPulzus Amplitúdó Modulációt használunk (pl. 1 = +U, 0 = -U). Ebben a kódolásban csak az impulzus magassága hordoz információt. A PWM (P Width M, impulzusszélesség-moduláció) illetve más néven PDM (P Duration M) esetén az impulzus időtartama („szélessége”) hordoz információt, míg a PPM (P Position M, impulzushelyzet-moduláció) az időbeli helyzete, ahogy az 1. képen látható.



2. ábra. Az ábrán az 10110 bitsorozat ASK, FSK és PSK modulációját látjuk, magyarázat a szövegben

Figyelem! a PAM ábra sok esetben ebben a formában nem használható. Általában úgy kell a jelet eltolni, hogy csak pozitív értékek legyenek. Nem tudunk üvegszálon negatív fényerősségű jelet átvinni. A helyes ábra Hudoba tanárúr 3. optoelektronika segédletében található (11. oldal).

Vivőfrekvenciás digitális modulációs rendszerek esetén az 2. ábrán háromféle moduláció szerepel. Az SK rövidítés angolul Shift Keying, magyarra billentyűzéseként fordítják. Az ASK, FSK és PSK rövidítések tehát magyarul amplitúdóbillentyűzés, frekvenciabillentyűzés illetve fázisbillentyűzés. A jelentésük az, hogy az amplitúdót, a frekvenciát illetve a fázist annak függvényében választjuk meg, hogy 0-ás vagy 1-es bit jön.

A fázisbillentyűzés esetén az ábrán azt választottuk, hogy a fázist 180° -kal toljuk el, amikor bitet váltunk. A fázist 90° -onként is válthatunk, ilyenkor négyféle jelünk lehet, amivel már nem csak kétféle állapotot (0-ás és 1-es bit), hanem négyféle jelet kódolhatunk (a fázis lehet 0° , 90° , 180° és 270°), amely két bit átvitelére alkalmas egy jel esetén. Például az előző négy fázis jelentheti a 00, 01, 10 és 11 bitpárokat.

Az eddig tárgyalt 4 jelből álló PSK-t nevezük QPSK-nak kvadratikus fázisbillentyűzésnek, vagy 4 állapotú fázisbillentyűzésnek.

A szokásos fázisbillentyűzés esetén a fázis jelenti az információt. Egy másik változatában nem a fázisnak magának van jelentése, hanem a fázisváltozásnak. Tehát például nem a 90° -os fázis jelenti a 01 biteket, hanem a 90° -os fázisugrás. Ez utóbbit nevezük differenciális fázisbillentyűzésnek, és a rövidítés elé tett D betűvel jelöljük. Például a D-QPSK jelentése differenciális kvadratikus fázisbillentyűzés.

Hasonlóan van 8 állapotú fázisbillentyűzés is. A 8 állapotú PSK-val (8PSK) nyolcféle szimbólumot tudunk megkülönböztetni. Ez szimbólumonként hány bit információt jelent? Ha n bitünk van, akkor 2^n különböző lehetőséget tudunk megadni. Pl. az egész számokat 0 és $n-1$ között. Tehát azt kell ilyen esetekben megkeresni, hogy kettőnek hányadik hatványa a szimbólumok száma. Mivel nyolc az kettőnek a harmadik hatványa, ezért a 8 állapotú PSK esetén 3 bitet tudunk szimbólumonként átküldeni, azaz ehhez a $3 \frac{\text{bit}}{\text{szimbólum}}$ váltószám tartozik. Mennyi bitet tudunk átvinni, ha másodpercenként 2000 szimbólumot küldünk 8 állapotú PSK-val? A szimbólumváltási sebesség $2000 \frac{\text{szimbólum}}{\text{s}} = 2000 \text{ Baud}$. Az adatátviteli sebesség $2000 \frac{\text{szimbólum}}{\text{s}} \cdot 3 \frac{\text{bit}}{\text{szimbólum}} = 6000 \frac{\text{bit}}{\text{s}} = 6 \frac{\text{kbit}}{\text{s}}$.

Jegyezzük meg, hogy a bit/s egység esetén a k, M, G előtagoknál a fizikában megszokott tízhatvány váltószámokat (10^3 , 10^6 , 10^9) használunk, nem 1024 hatványait!

A 8 állapotnál többet nem használunk PSK esetén. Ilyen esetben a QAM modulációt használjuk (16, 256, 1024 állapotú QAM). A QAM esetén nem csupán a fázist változtatjuk, hanem az amplitúdót is. Tehát ez egy kicsit a PSK és az ASK keverékének is tekinthető. Ábrák és kiegészítések a főlíakon!

2.2. Mintakérdések a modulációk témaköréhez

2.1. feladat {6} Milyen változatai vannak az amplitúdómodulációnak? Melyiknek mi az előnye? Melyiknél hogyan állíthatjuk vissza a moduláló jelet. Írja és rajzolja le, milyen kapcsolat van a moduláló jel és a modulált jel spektruma között az egyes típusok esetén?

2.2. feladat {7} Adja meg képlettel, hogyan kapjuk meg a frekvencia- és fázismoduláció esetén a pillanatnyi frekvenciát illetve fázist. (31. dia)

2.3. feladat {8} Vezesse le egy koszinuszos modulálójelből származó frekvenciamodulált jel képletét. Mit jelent a maximális frekvencialöklet és a frekvenciamodulációs tényező?

2.4. feladat {9} Mit jelent a fázismodulációs tényező?

2.5. feladat {10} Milyen vivőfrekvencia nélküli digitális modulációkat ismer? Milyen értékkel jellemezzük a digitális moduláció esetén az átvitel minőségét.

2.6. feladat {11} Milyen vivőfrekvenciás digitális modulációs rendszereket ismer? Ezek közül melyik használható optikai átvitelnél? Miért?

2.7. feladat {12} Rajzolja le az 110100 bitsorozat ASK, FSK, PSK modulált változatát! Mi ezeknek a modulációknak a magyar neve?

2.8. feladat {13} Maximum hány fázisú PSK-t érdemes használni? Miért? Ez hány bitet tud átküldeni egy szimbólumban?

2.9. feladat {14} QAM esetén milyen módon csökkenthető a bithibarány?

2.10. feladat {15} 4 fázisú PSK moduláció esetén mekkora szimbólumváltási sebesség kell 6000 b/s sebességhez? Részletezzük a megoldást!

2.11. feladat {16} 16 állapotú QAM (16QAM) esetén a 2000 Baud szimbólumváltási sebességhez mekkora bitsebesség tartozik? Részletezzük a megoldást!

2.12. feladat {17} 256 állapotú QAM (256QAM) esetén a 16000 b/s sebességhez mekkora szimbólumváltási sebesség tartozik? Részletezzük a megoldást!

3. Digitális jelek előállítása

3.1. Szükséges tudnivalók

48–70. dia

3.1. feladat {18} Mekkora frekvenciával kell egy sávhatárolt analóg jelből mintát venni, hogy visszaállítható legyen az eredeti jel? Nevezze meg, és írja le képlettel és szavakkal az ide vonatkozó törvényt. (Két név szerepeljen benne.)

3.2. feladat {19} Másodpercenként hány mintát szoktak venni a beszédhangból, miért?

3.3. feladat {20} Minimálisan mekkora mintavételi frekvencia kell, ha egy zenei rádiócsatorna esetén vissza szeretném állítani a jelet 15 kHz-ig. Milyen fontos lépést kell tenni a mintavétel előtt, hogy tényleg vissza tudjam állítani az eredeti jelet.

3.4. feladat {21} Mi történik, ha a mintavételi frekvencia felénél nagyobb frekvenciájú jelet tartalmaz az eredeti jel? Mi a jelenség neve? Hogyan védekezünk ezellen?

3.5. feladat {22} Milyen lépéseken keresztül, és milyen modulációkon keresztül halad az analóg jel digitalizálása? Milyen törvényszerű zajjal jár ez?

3.6. feladat {23} Válaszolja az analóg jel visszaállítását digitális jelből.

3.7. feladat {24} Ábrázolja a teljes digitális láncot. Milyen hibák és torzítások lépnek fel a lánc során?

4. Hullámokkal kapcsolatos összefüggések ismételése

Ha egy rezgés a térben szétterjed, hullám alakul ki. A rezgést meghatározza a rezgés T periódusideje. A periódusidő reciprokát (azt hogy időegységként hány rezgés megy végbe) frekvenciának nevezzük. És $1/s=Hz$ -ben mérjük.

A hullámok sebességét gyakran c -vel szoktuk jelölni. A vákuumbeli fénysebességet a továbbiakban c_0 -lal fogom jelölni.

Egy T periódusidejű rezgés a periódusideje alatt cT utat tesz meg. Ez éppen a λ hullámhosszal egyezik, tehát a hullám sebességének ismeretében a hullámhosszból a frekvencia kiszámolható, és fordítva:

$$\lambda = \frac{c}{f}, \text{ és } f = \frac{c}{\lambda}.$$

Esetenként a frekvencia helyett az ω körfrekvenciát használjuk, ami a körmozgásnál használt szögsebesség megfelelője. A körmozgásnál azt jelenti, hogy hány radiánt fordul el a test másodpercenként. A körmozgásból a harmonikus (szinuszos) rezgés úgy származtatható, ha a körmozgásnak csak az egyik koordinátáját figyeljük: a körmozgást nagyon messziről az éle felől kivetíttem egy falra. Mivel egy teljes körben 2π radián van, ezért 2π -szer annyi radiánt tesz meg a test, mint teljes kört:

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}.$$

5. A jelátvitel fizikai közegei és a vezetett hullámú összeköttetések

5.1. Szükséges tudnivalók

72 – 85. dia és 106–110. dia

A kábeltípusoknál nem kellene külön-külön az adataik, csak az, hogy pl. milyen jelölésük van a csavart érpárokaknak, és miben térnek el ezek egymástól.

Az optikai szálakkal kapcsolatos dolgokat bővebben részletezzük alább.

5.1.1. Optikai alapok

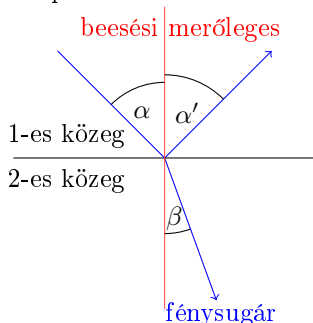
Az optikában előforduló anyagok, az *optikai közegek*, jellemzésére használjuk a törésmutatót. A k közeg n_k törésmutatója kifejezhető a $c = 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$ vákuumbeli fénysebességgel és azzal a c_k sebességgel, amellyel az adott közegben halad a fény.

$$n_k = \frac{c}{c_k} > 1$$

Ez a vákuumra vonatkoztatott, úgynevezett *abszolút törésmutató*. Mivel a vákuumban terjed leggyorsabban a fény, ezért ez az érték minden közegre nagyobb egynél. A levegőben ez 1,0003 körüli érték, ami alig tér el a vákuumbelétől. Többféle üveg létezik, melyek törésmutatója adalékanyagoktól függően változik nagyjából 1,4 és 1,8 közötti. A gyémánt törésmutatója rendkívül nagy: 2,42.

Optikailag sűrűbbnek nevezünk egy közeget, ha a törésmutatója nagyobb, azaz halad benne a fény.

Az optikai szálakban fontos szerepe van a törésnek és a visszaverődésnek, mégpedig a teljes visszaverődésnek.



A fény egy része vagy egésze közeghatárhoz érve visszaverődik másik része a másik (2-es) közegbe behatolhat. A fénysugarak kék vonalai és a beesési merőleges (a közegeket elválasztó síkra merőleges egyenes) piros vonala egy síkban vannak.

Az ábra jelölései szerint az α szöget beesési szögnek, a β szöget törési szögnek nevezzük, az α' szöget visszaverődési szögnek.

A visszaverődés α szöge egyenlő az α' beesési szöggel.

A törést meghatározó törvényt neve *Snellius–Descartes-törvény* mely szerint

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (1)$$

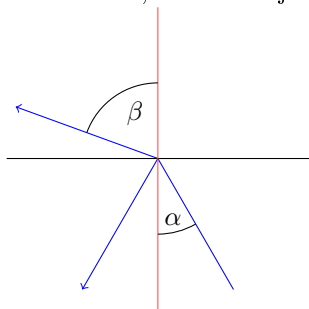
ahol a c_1 és c_2 az 1-es és 2-es közegbeli fénysebesség, az n_1 és n_2 az 1-es és 2-es közeg (abszolút) törésmutatója.

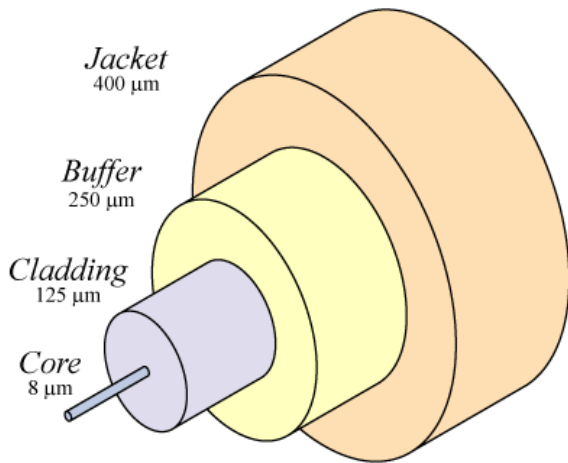
Mivel hegyesszögekre a szinusz monoton növekedő, a nagyobb szög szinusza nagyobb. A nagyobb szög tehát ahhoz az oldalhoz tartozik, amelynél a fénysebesség nagyobb, a törésmutató kisebb.

Tehát az ábrán a kisebb törésmutatójú helytől tartunk a nagyobb irányába, így a törési szög kisebb lesz, mint a beesési szög. Ez a helyzet például, ha a fény levegőből halad üvegbe vagy vízbe.

Ilyenkor a beesési szöget akármennyire megnövelhetem, a törési szög mindig kisebb lesz nála, a fenti egyenletből értelmes értéket számolhatunk a β értékre.

Nézzük meg a fordított irányt. Küldjünk a nagyobb törésmutatójú közegből egy fénysugarat a kisebb törésmutatójúba. A közegekben a fénysugár útja megfordítható: ha abból az irányból küldünk be fényt, amelyikbe korábban ment, akkor az újabb fénysugár arra fog menni, amerről a korábbi jött.

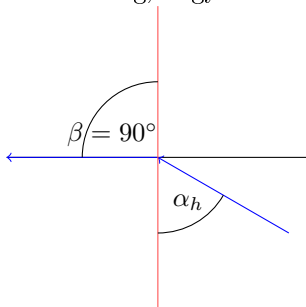




3. ábra. Egy optikai szál keresztmetszete. (A méretek egymódusú szálaknak felelnek meg.) Legbelül a két üvegréteg található, a mag (core) és a köpeny (cladding), majd kívül a mechanikai védelmet szolgáló rétegek.

Vizsgáljuk meg, mi történik, ha az α beesési szöget növelem! A β szög is egyre növekszik, és egy α_h szögnél eléri a derékszöget. Ha tovább növelem a beesési szöget, a Snellius–Descartes-törvényből a $\sin \beta$ értékre egynél nagyobb értéket kapok. Mi lesz ekkor a megtört fénysugárral? Nem lesz megtört fénysugár. Ahogy közeledek az α_h határszöghöz, a fénysugár egyre nagyobb része visszaverődik, és egyre kisebb része halad át a másik közegbe. A határszöget túllépve a teljes fénysugár visszaverődik, ezért ezt a szöget a *teljes visszaverődés határszögének* nevezzük.

Nézzük meg, hogy mekkora értéke lesz az α_h határszögnek!



A Snellius–Descartes-törvényben (1-es képlet) a β értéke 90° lesz, melynek szinusza 1, tehát:

$$\sin \alpha_h = \frac{n_2}{n_1} \quad (2)$$

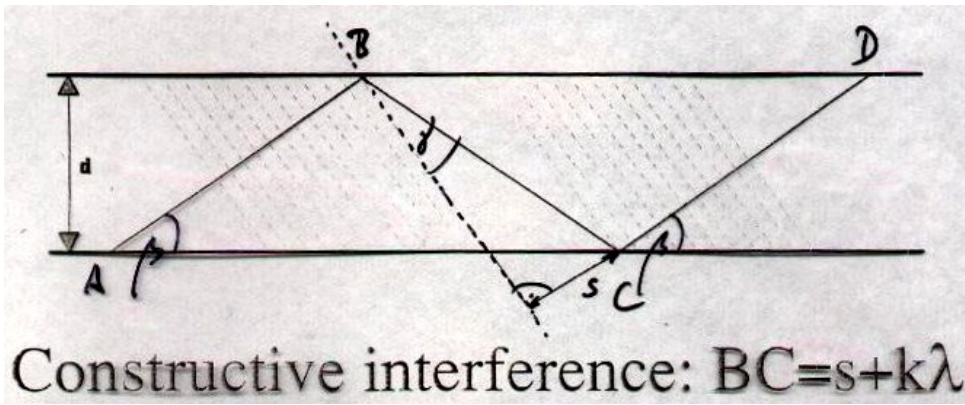
ahol n_2 annak a közegnek a kisebb törésmutatója, amelyik közegbe továbbmenne a fénysugár, az n_1 pedig azé, amelyikből jön a fénysugár, és amelybe végülis teljes mértékben visszaverődik, ha $\alpha > \alpha_h$.

5.1.2. Optikai szálak

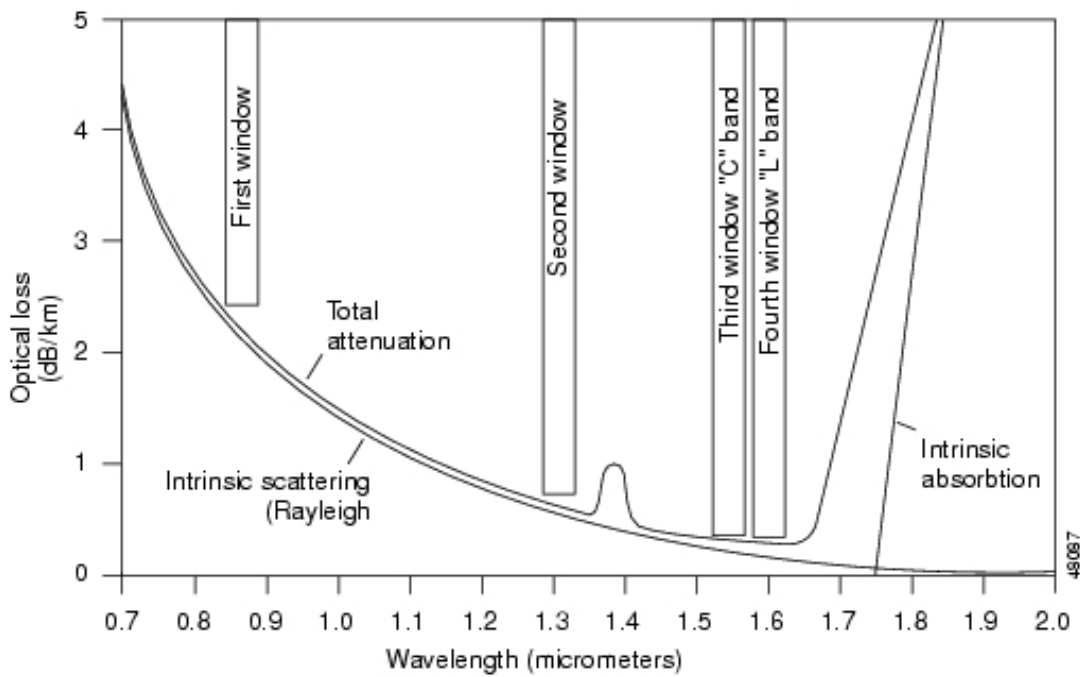
Az optikai szálak két üvegrétegből állnak (3. ábra). A belső réteg a mag, körülötte található a kisebb törésmutatójú üvegréteg, a köpeny. A sűrűbből ritkább réteg felé haladó fénysugarak teljes visszaverődést szenvednek, ha a beesési merőlegesssel bezárt szögük egy adott szögnél nagyobb. Tehát a tengelyhez képes kis szögben haladó fénysugarak teljes visszaverődést szenvednek, a nagyobb szögben haladók közül mindig kijut valamennyi, amikor a határhoz érnek, úgyhogy azok gyorsan „elfogynak”.

81. dia: A fény nem terjedhet akármilyen irányban az optikai szálban, csak bizonyos irányokban lép fel az eredeti és a kétszer visszaverődött fényhullám között erősítő interferencia. Emiatt csak véges sok szögben haladhat a fény a szálban. Elég vékony szál esetén csak egyetlen irányban, a szál tengelye mentén, ezt hívjuk egymódusú szálak (SM = Single Mode), a többit multimódusúnak (MM).

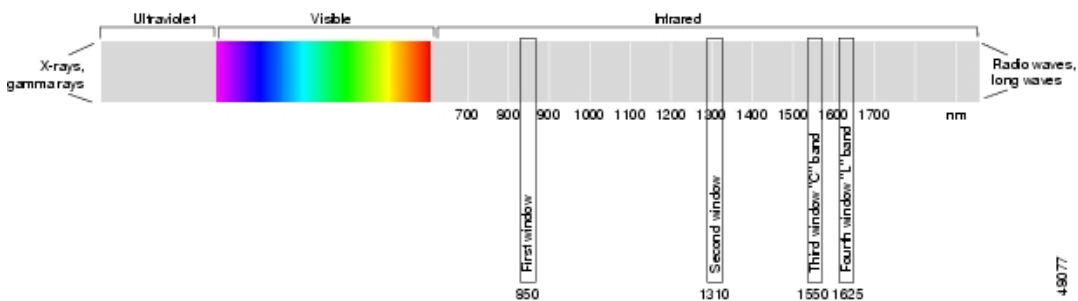
Részletezés: Levezethető a 4. ábra alapján, hogy azokban a β irányokban terjedhet a fény, amelyre $\sin \beta = \frac{k\lambda}{2d}$ (k egész szám). Amennyiben a $k = 1$ esetén a hányados nagyobb mint egy, azaz az üvegbeli hullámhossz (λ) nagyobb mint az optikai szál magjának kétszeres átmérője ($2d$), akkor csak egy módus terjedhet, a tengely menti. Ezt nevezzük egymódusú (SM) szálak. Figyelem: az üvegbeli hullámhossz nem egyezik meg a fény levegőbeli hullámhosszával.



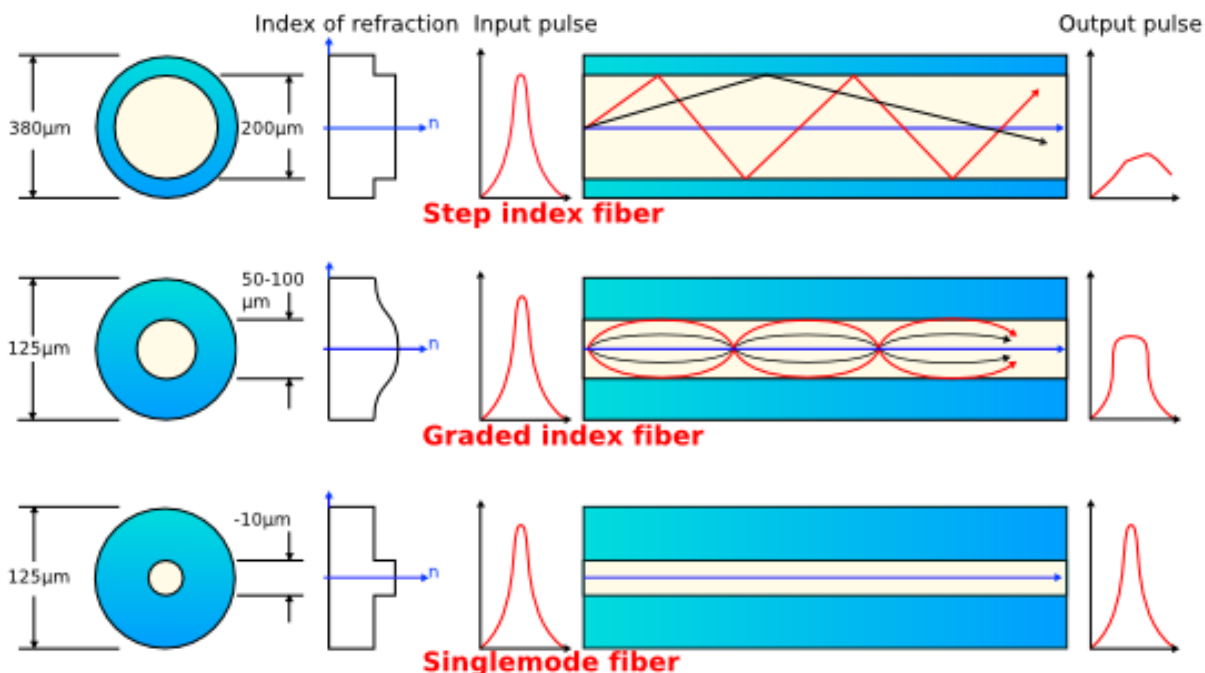
4. ábra. Csak abban az irányban terjedhet a fény, amelyik irányban az fényhullámok az interferencia során egymást erősítik (konstruktív interferencia).



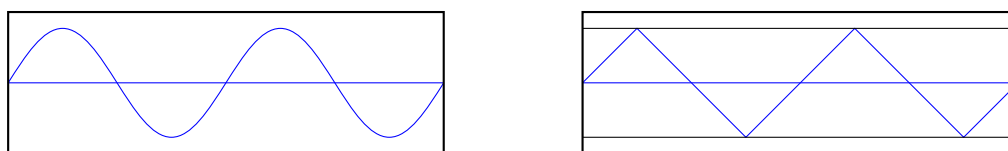
5. ábra. Az optikai veszteség (optical loss) a hullámhossz függvényében.



6. ábra. Az optikai adatátvitelben használt (infravörös) hullámhossztartományok elhelyezkedése a látható fényhez képest.



7. ábra. Az optikai szálak három fő típusa, és azok jellemzői.



8. ábra. A parabolikus profilú (GRIN=GRAded INdex) és a lépcsős profilú szál két-két jellemző sugármenete. A GRIN szálban a hosszabb úton haladó sugár átlagosan gyorsabban megy, így a késése kisebb, mint a lépcsős profilúnál, tehát egy beérkező fényimpulzus esetén, amelyből mindkét irányban jut fény sugar, kisebb lesz a szál túlsó végén az impulzus „szétfolyása”.

A fény kis hullámhosszakon (a látható fény irányában) a szórás miatt, nagy hullámhosszakon (rádiótartomány irányában) az elnyelés miatt jelentősen csillapodik. A szórás azt jelenti, hogy a fény az atomokkal kölcsönhatva nem csak az eredeti irányban megy tovább, hanem más irányokban is. (A léggör is a kis hullámhosszú fényt szórja jobban, mint a vöröset. Emiatt van, hogy a lenyugvó nap fényéből a vörös jut el a szemünkbe. Azok a kék fénysugarak, amelyek útközben kiszóródtak, okozzák egy más irányban álló ember szemében az égbolt kékségét. A nap „elvörösödése” déli órákban azért nem feltűnő, mert akkor jóval kisebb légrétegen jön keresztül a napfény.)

Infravörös tartományban vannak olyan helyek, amelyben a csillapításnak minimuma van. Ezeket használják az optikai szálakban (850, 1310, 1550 és 1625 nm). (5. és 6. ábra)

7. ábrán látható az optikai szálak három főbb típusa. Az első olyan multimódusú szál, melyben a mag törésmutatója független a helytől, és lépcsősen változik a köpenyhez képest (lépcsős indexű). Ebben több irányban terjedhet a fény, és a hosszabb úton később ér a szál végére. Ez jelentősen korlátozza a maximális átvihető frekvenciát, azaz a sávszélességet. Tipikus fajlagos sávszélesség ezeknél a 20 MHz·km. Melyet elosztva a szál hosszával megkapjuk a sávszélességet. 20 kilométeres szálnál 1 MHz a sávszélesség.

Ha a törésmutatót a tengelytől való távolsággal parabola-profil szerint változtatjuk, akkor a magban a fénysugarak már nem egyenes szakaszokon fognak haladni. És ami fontos, hogy azok a fénysugarak, amelyek nagyobb utat tesznek meg, kisebb törésmutatójú helyen teszik meg ennek nagy részét, így sebességük nagyobb lesz ahhoz képest, mint amelyek a szál tengelyében halad egyenesen. Emiatt tehát a késése nem lesz olyan nagy mint a lépcsős indexűnél. (Ezeket a szálakat a GRAdient INdex rövidítéséből GRIN-nel jelölik.) Ezeknek a szálaknak a fajlagos sávszélessége tipikusan 1 GHz·km.

Az egymódusú szálban csak a tengelymenti fénysugár terjedhet, ezért itt a legkisebb a jel szétkenődése. Ennél a tipikus fajlagos sávszélesség 100 GHz·km.

5.2. Mintakérdések az optikai szálakhoz

5.1. feladat {25} Mekkora idő alatt halad végig egy fényjel azon a 20 km-es üvegszálon, melynek magja $n_{\text{mag}} = 1,54$ törésmutatójú?

Segítség: Használjuk fel a törésmutató definícióját. (102,67 μs)

5.2. feladat {52} Melyik jellemzője marad változatlan a fénynél, amikor más közegbe jut? (0–3 jó válasz lehet)

- frekvenciája
- hullámhossza
- rezgésének periódusideje

5.3. feladat {26} Mit nevezünk egymódusú szálnak? Mitől függ, hogy egy szálaban egy vagy több módus van?

5.4. feladat {27} Mi határozza meg, milyen hullámhosszon használjuk az optikai szálakat? Rajzolja fel nagy vonalakban az optikai veszteség grafikonját, és magyarázza a függvény menetét.

5.5. feladat {67} Optikai szálakban milyen jelenség okozza a nagy csillapítást a infravörös tartomány felett, és mi okozza alatta?

5.6. feladat {28} Maximum mekkora hosszú egymódusú szálakat használhatok, ha 5 GHz sávzélességet szeretnék elérni. A szál fajlagos sávzélessége 100 GHz·km.

5.7. feladat {29} Miért lesz nagyobb a parabolikus profilú (GRIN) szálak sávzélessége, mint a lépcsős profilúé?

5.8. feladat {53} Mekkora lesz (a vákuumban) 440 nm-es fény hullámhossza és frekvenciája egy 1,6 törésmutatójú üvegben.

Megoldás részlete: A fény frekvenciája független a közegtől, ha az egyikből a másikba átmegy, akkor ugyanakkora marad. A fény frekvenciája kiszámolható, ha az adott közegbeli sebességet elosztom az adott közegbeli hullámhosszal. Mivel a hullámhossz a vákuumba van megadva, ezért a vákuumbeli fénysebességet kell osztani, amit illik tudni.

$$f = \frac{c_0}{\lambda_0} = \frac{300000 \text{ km/s}}{440 \text{ nm}} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{440 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 6,818 \cdot 10^{14} \text{ Hz} = 681,8 \text{ THz}$$

A λ_k hullámhossz az üvegben szintén a fenti összefüggés átrendezett alakjával számolható ki, amelybe az ottani c_k fénysebességet helyettesítem. Az üvegszál magjában a sebesség kiszámolható a törésmutatóból.

A számolást egyszerűbben is elvégezhetjük, ha észrevesszük a következő összefüggést:

$$\lambda_k = \frac{c_k}{f} = \frac{c_0/n}{f} = \frac{c_0/f}{n} = \frac{\lambda_0}{n} \quad (3)$$

ahol c_k és λ_k a közegbeli hullámhossz és fénysebesség, n a közeg törésmutatója, c_0 pedig a vákuumbeli fénysebesség.

5.9. feladat {96} Határozzuk meg mekkora a teljes visszaverődés határszöge, ha 1,52 törésmutatójú üvegből levegőbe halad a fénysugár. (A levegő törésmutatója 1-nek vehető.)

5.10. feladat {97} Határozzuk meg mekkora a teljes visszaverődés határszöge, ha a mag törésmutatója 1,56, a köpenyé 1,5!

5.11. feladat {30} Milyen fényforrásokat használunk az optikai szálaknál?

5.12. feladat {54} A LED és a lézervediódák közül melyiknek nagyobb az élettartama, maximális moduláló frekvenciája, kisugárzott teljesítménye és belépési vesztesége?

5.13. feladat {55} Párosítsuk a következő maximális modulálófrekvenciákat az eszközökkel:

- LED, lézervediódák, lavina fotodiódák
- 1000 MHz, 10 GHz, 100 MHz

5.14. feladat {56} Párosítsuk a következő szál típusokat a fajlagos sávzélességgel:

- egymódusú, többmódusú lépcsős indexű, GRIN
- 100 GHz·km, 10 GHz·km, 20 MHz·km

5.15. feladat {57} Párosítsuk a következő szál típusokat a magátmérőkkel:

- egymódusú, többmódusú lépcsős indexű, GRIN
- 10 μm , 70 μm , 200 μm ,

6. Távvezeték-elmélet

6.1. A távvezeték-egyenletek levezetése és elemzése

(Forrás: Simonyi Károly: *Elméleti villamosságtan*, Tankönyvkiadó, Bp, 1967. 437–448. old)
95 – 105. dia

A vezetékpár dx hosszú darabját a 95. dián látható módon helyettesíthetem. A teljes vezeték ilyen szakaszok egymásutánja. Az L, R, G, C értéke az ábrán egységekre vonatkoztatva adott, tehát pl. R egysége Ω/m . A *távvezeték-egyenletek* ezekből levezethetőek:

$$-\frac{\partial u}{\partial x} = Ri + L\frac{\partial i}{\partial t} \quad (4)$$

$$-\frac{\partial i}{\partial x} = Gu + C\frac{\partial u}{\partial t} \quad (5)$$

Ahhoz, hogy megkapjuk, hogyan változik a feszültség a vezeték mentén létre kell hozni olyan egyenletet, amelyben csak az u szerepel, i nem. Ehhez deriválni kell x szerint az (4) egyenletet, és a keletkező i -s tagokat a (5) szerint kell helyettesíteni. (96. dia)

Ekkor a következő egyenletet kapjuk:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = LC\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + (RC + LG)\frac{\partial u}{\partial t} + RGu \quad (6)$$

Teljesen hasonló módon vezethető le az az egyenlet is, amelyben csak az i szerepel. Ha a (6) egyenletben minden u -t i -re cserélek, akkor ez utóbbi egyenletet kapom.

$$\frac{\partial^2 i}{\partial x^2} = LC\frac{\partial^2 i}{\partial t^2} + (RC + LG)\frac{\partial i}{\partial t} + RGi$$

Oldjuk meg a távíró-egyenletet.

Keressük a megoldást $u = U_0 \cdot \exp(j\omega t - \gamma x)$ alakban. Itt az ω és U_0 értékeket én határozom meg azzal, hogy a vezeték elejére ($x = 0$) milyen jelet kapcsolok. A γ értéket keresem. (Az $\exp(x)$ kifejezés ugyanazt jelöli, mint az e^x , de hosszabb argumentumnál könnyebben olvasható.)

A megoldáshoz előállítjuk a parciális deriváltakat:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = j\omega u \quad \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -\omega^2 u \quad \frac{\partial u}{\partial x} = -\gamma u \quad \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \gamma^2 u$$

Visszahelyettesítve az egyenletbe és u -val végigosztva olyan kifejezést kapunk a jobb oldalon, amely szorzat alakba írható:

$$\begin{aligned} \gamma^2 &= (R + j\omega L)(G + j\omega C) \\ \gamma &= \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} = \pm(\alpha + j\beta) \end{aligned} \quad (7)$$

A γ értékét a komplex négyzetgyök-vonással kapjuk, melyről tudjuk hogy két értéke van, melyek egymás ellentettjei. Az egyik megoldás valós része pozitív, ezt jelöltük α -val, a hozzá tartozó képzetes részt pedig $j\beta$ -val.

A fenti egyenletben, ha a pozitív megoldást vesszük figyelembe, akkor a következő megoldást kapjuk:

$$\begin{aligned} u^+ &= U_0 \cdot \exp[j\omega t - (\alpha + j\beta)x] = \\ &= U_0 \cdot e^{-\alpha x} \cdot \exp[j(\omega t - \beta x)] = \end{aligned} \quad (8)$$

$$= U_0 \cdot e^{-\alpha x} \cdot \exp\left[j\omega\left(t - \frac{x}{v}\right)\right] \quad (9)$$

Itt az utolsó sorban bevezettük a $v = \omega/\beta$ mennyiséget, melyről belátható, hogy a hullám terjedési sebessége, melyet *fázisebességnek* nevezünk. Ha például megmérnénk, hogy a hullám zérushelyei (fázisa $\phi = 0$) milyen gyorsan mozognak a vezeték mentén, akkor ezt a sebességet kapjuk.

Ebben a megoldásban a terjedés iránya a vezeték pozitív iránya (x növekvő iránya). A negatív jel figyelembevételével olyan u^- megoldást kapunk, melyben a jel a pozitív irány felől jön, és *annak* a terjedési irányában csillapodik. Ezt a megoldást akkor kell figyelembe venni, ha a túlsó végről visszaverődés történik, vagy onnan is küldünk jelet.

A következő elnevezéseket alkalmazzuk:

γ – terjedési együttható: az alábbi kettőt tartalmazza

α – csillapítási tényező: ez jellemzi a csillapodás mértékét, $\alpha = 0$ esetben nincs csillapítás, és mennél nagyobb pozitív értékem van, annál gyorsabban közelít nullához a jel amplitúdója a vezeték mentén

β – fázistényező

6.2. Hullámimpedancia

A vezetőben haladó hullámra igazoltuk, hogy az megfelelő γ értéknél

$$u(x, t) = U_0 \cdot e^{j\omega t - \gamma x} \quad (10)$$

Az áram lefolyására hasonló összefüggés érvényes:

$$i(x, t) = I_0 \cdot e^{j\omega t - \gamma x}. \quad (11)$$

Az egyenletekben az U_0 és I_0 együttthatók komplex számok. Egy ω körfrekvenciájú harmonikus jelet bebocsájtva a vezetékbe a feszültség és az áram hányadosa a vezeték minden pontján bármelyik időpontban állandó, és ezt nevezzük a vezeték *hullámimpedanciájának*. Jele Z_0 .

Hogyan kapjuk meg a hullámimpedancia értékét? Helyettesítsük be az első távvezeték-egyenletbe a pozitív irányba haladó harmonikus jel feszültségének és áramerősségének megfelelő deriváltjait. Az idő szerinti deriválnál $j\omega$ szorzó „jön ki”, mint az e kitevőjében szereplő belső függvény deriváltja, a hely szerinti deriválnál pedig $-\gamma$, tehát

$$\frac{\partial i}{\partial t} = j\omega i \quad (12)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} = -\gamma u \quad (13)$$

Ezeket a (4) egyenletbe helyettesítve, majd a (7) egyenletet felhasználva azt kapjuk, hogy

$$\gamma u = (R + j\omega L)i \quad (14)$$

$$Z_0 = \frac{u}{i} = \frac{R + j\omega L}{\gamma} \quad (15)$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \quad (16)$$

Fontos megjegyezni, hogy általában a hullámimpedancia függ a jel körfrekvenciájától.

99. 100. és 101. dia a tanári kéziratból kell. (Fázistényező és hullámhossz kapcsolata, hullámimpedancia)

6.3. Ideális vezeték

$R = 0$ és $G = 0$ esetén *ideális vezetékről* beszélünk. Ekkor (7) egyenletből:

$$\gamma = j\omega\sqrt{LC}, \quad \alpha = 0, \quad \beta = \omega\sqrt{LC} \rightarrow v = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Mivel itt L és C egysége H/m illetve F/m, v egysége m/s lesz. Mint a 104. dián látható, ha a kapacitást csökkenteni akarjuk (távolítjuk a vezetőket), akkor az induktivitás növekszik (nagyobb fluxust zár körbe a vezeték), nem jön ki soha nagyobb v sebesség, mint a vákuumbeli fénysebesség ($c = 1/\sqrt{\epsilon\mu}$). Ideális vezetéknél $v = c$ többnél $v < c$.

6.4. Reflexiós koefficiens (r)

Ekkora hányad verődik vissza a végétől. Ha U^+ érkezik be, akkor rU^+ verődik vissza.

Levezethető: ha Z_0 hullámimpedanciájú vezetéket Z impedanciával zárom le, akkor $r = (Z - Z_0)/(Z + Z_0)$. Ebből látszik, hogy csak $Z = Z_0$ esetben nem lesz visszaverődés a végétől ($r = 0$). Általában a Z_0 értéke frekvenciafüggő, úgyhogy nem is olyan könnyű lezárni a vezeték végét, hogy egyetlen frekvencián se legyen visszaverődés.

Ezt a lezárást nem olyan könnyű elvégezni, ha tág frekvenciaatartományt szeretnénk a vezetéken továbbítani, hiszen a hullámimpedancia értéke általában frekvenciafüggő.

Lezáratlan ill. rövidrezárt esetben ($Z = \infty$ illetve $Z = 0$) a visszavert hullám amplitúdója ugyanakkora lesz mint a bejövő, csak utóbbi esetben ellentett ($r = 1$ illetve $r = -1$). Gyakorlatilag ilyen vezetéken nem lehet meghallani a jelet a visszaverődésektől.

6.5. Kis csillapítású vezeték

$R \ll L\omega$, $G \ll C\omega$ feltétel mellett beszélünk *kis csillapítású vezetékről*.

Ilyenkor $\alpha \approx \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}}$ frekvenciafüggetlen.

Szeretnénk mennél kisebb csillapítást elérni. Az R és C bizonyos határok alá csökkentése korlátokba ütközik, így L növelése marad. Ennek egyik módja, hogy egyes vezetékszakaszok közé tekercseket iktatunk be: ezek a Pupin-csévék. Ezzel a módszerrel vált lehetővé a világméretű telefonhálózat. (Lásd HLAB3/TLN3.m szimuláció.)

v és Z_0 kis csillapítású vezetékeknel általában frekvenciafüggetlen; de az $LG = RC$ esetben frekvenciafüggetlen. Ebben az esetben a jel minden szinuszos összetevője ugyanannyi idő alatt jut át a vezetéken, és az α csillapítás is minden összetevőre azonos. Ezt hívjuk torzításmentes átvitelnek. (Lásd HLAB3: TAVVEZ_F.m és telefonkabel.m szimulációk.)

6.6. Torzításmentes átvitel

Torzításmentesnek nevezünk egy átvitelt, ha az átviteli csatorna kimenetén ugyanolyan jel jelenik meg, mint a bemenetén volt, legfeljebb a nagysága lesz kisebb. Ehhez *két feltétel* szükséges:

1. A jelek minden frekvenciájú összetevőjét *ugyanolyan mértékben kell csillapítania* (erősítenie) az átviteli csatornának. Ha minden frekvenciaösszetevőt pl. felére változtat a csatorna, akkor nyilván a kimeneten a több különböző frekvenciájú harmonikus jelből összetett jelnek is a felét kapjuk meg.

Ennek a feltétele nyilvánvalóan az, hogy α független ω -tól. Azaz α képletében nem szerepel az ω és semmilyen ω -tól függő mennyiség.

2. A jelek minden frekvenciaösszetevőjének *azonos idő* alatt kell megérkeznie a csatorna túloldalára. Nyilván, ha ez nem teljesül, akkor a kimeneten egy pillanatban a bemenetről nem egy időpillanatból származó frekvenciaösszetevők fognak megjelenni.

Ennek a feltétele nyilvánvalóan az, hogy a jelek minden összetevőjének fázissebessége (v) független ω -tól. Azaz v képletében nem szerepel az ω és semmilyen ω -tól függő mennyiség.

6.7. Mintafeladatok a távvezeték-elmélethez

6.1. feladat {31} Rajzolja fel a dx hosszúságú távvezeték szakasz helyettesítő képét és írja fel a távvezeték-egyenleteket.

6.2. feladat {32} Milyen két lépést kell tenni ahhoz a távvezeték-egyenletekből, hogy csak u -t tartalmazó differenciálegyenlethez jussunk? Mi lesz a kapott differenciálegyenlet? (Nem muszáj levezetni, csak a két lépést kell szóban elmondani. De nincs megtiltva a levezetés sem.)

6.3. feladat {33} A távvezeték-egyenletek esetén milyen formában keressük a feszültségre vonatkozó differenciálegyenlet megoldását, és milyen megoldást kapunk γ -ra? Hogyan vezetjük be és hogyan nevezzük az α és β mennyiségeket? Mi lesz a pozitív irányba haladó megoldás? (A levezetés nem kötelező, de szabad.)

6.4. feladat {34} Milyen (ideális határ)esetben tekintünk egy vezetéket ideálisnak? Milyen tulajdonságai lennének egy ilyen vezetéknek (csillapítás, fázissebesség, torzításmentes jel jut-e át rajta...)?

6.5. feladat {35} Mit nevezünk egy vezeték hullámimpedanciájának? Hogyan számítható ki a vezeték adataiból? Nevezzük meg a képletben szereplő mennyiségeket!

6.6. feladat {36} Mitől függ, hogy a vezeték végén megjelenő jel mekkora része verődik vissza? Írja fel és magyarázza el az erre vonatkozó képletet! Hogyan oldható meg, hogy ne történjen visszaverődés? Mi történik ha nincs lezárás, illetve ha rövidre zárjuk a vezeték végét?

6.7. feladat {58} A jel hány százaléka verődik vissza a vezeték végéről, ha a Z_0 hullámimpedanciájú vezetéket $2Z_0$ impedanciával zárom le?

6.8. feladat {51} Milyen esetben tekintünk egy vezetéket kis csillapításúnak? Milyen tulajdonságai vannak egy ilyen vezetéknek?

6.9. feladat {37} Függ-e a frekvenciától, hogy egy vezetéket kis csillapításúnak tekinthetünk-e?

6.10. feladat {38} Egy vezeték (ha egyáltalán lesz) kis vagy nagy frekvencián lesz kis csillapítású?

6.11. feladat {108} Torzításmentes-e az ideális vezeték?

6.12. feladat {109} Milyen esetben torzításmentes egy kis csillapítású vezeték?

További számolási feladatok találhatóak a Levezetés beadandó feladatoknál a 20. fejezetben.

7. Emberi érzékelés

A főbb tudnivalók és kérdések a „Kiegészítések a segédlethez” dokumentumban vannak.
(Lásd még 196–203. dia – Géher 43. oldal)

7.1. Hangtechnikai alapok

Az állandónak tekinthető P_0 -val jelölt állandó légköri nyomáshoz adódik hozzá a $p(t)$ hangnyomás, az összegük a tér egy pontjában tapasztalható pillanatnyi légnyomás $P(t)$ (Pascal = Newton/négyzetméter):

$$P(t) = P_0 + p(t) \quad (17)$$

A hangnyomásszint

$$L_p = 20 \cdot \lg \frac{p}{p_0} \text{ dB},$$

ahol p_0 az átlagember számára éppen meghallható 1 kHz-es szinuszos hang nyomásértéke: $p_0 = 20 \cdot 10^{-6} \text{ Pa} = 20 \mu\text{Pa}$, ennek az intenzitása $I_0 = 1 \text{ pW/m}^2$. (A fül 1 kHz környékén a legérzékenyebb.)

Az intenzitás a felületegységen egységnyi idő alatt áthaladó teljesítményt méri (watt/négyzetméter).

$$\text{Intenzitásszint: } L_I = 10 \cdot \lg \frac{I}{I_0} \text{ dB}.$$

Az intenzitás a nyomás négyzetével arányos, ezért van 10-es ill. 20-as szorzó az egyikben ill. másikban, mint a villamosságban az feszültségből és a négyzetével arányos teljesítményből számolt decibelértékek esetén.

Az alábbi összefüggést csupán a beadandó feladatok miatt kell tudni:

$$I = \frac{p^2}{\rho_0 c}, \text{ ahol a földfelszíni levegőben } \rho_0 c = 410 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}.$$

198. dia

Az emberi hallás más és más frekvencián különböző hangokat hall meg illetve más intenzitású hangokat tart fájdalmasnak (*hallásküszöb, fájdalomküszöb*).

A beszédhang jól érthető marad, ha belőle a 300 Hz–3400 Hz sávot visszük át, kellemes zenei élményhez a 20 Hz–20 kHz átvitele szükséges.

Ha egy más frekvenciájú szinuszos hang hangosságérzetét az 1 kHz-eshez viszonyítjuk, akkor a *hangerősséget* kapjuk, jele L_N , egysége *phon*.

Hangelfedés: egy szinuszos hang megemeli a környező frekvenciák hallásküszöbét. (Ezt kihasználják pl. az MPEG tömörítésnél.)

Vízszintes síkban a hangnyomás-eltérésből érzékeljük az irányt. Függőleges helyzet érzékeléséhez a fej mozgására is szükség van.

7.2. Fénytechnikai alapok

8. Jelátalakítók

204. diától – Géher 51. oldal (mikrofonok) illetve

Szénmikrofon: távbeszélő rendszerekben, olcsó, torzít

Dinamikus mikrofon: stúdió és közszükségleti eszközökben, széles sáv

Kondenzátor-mikrofon: Stúdió ill. mérés technika, hitelesített érzékenységet megtartja sokáig.

(Nem kell a kondenzátorhangszóró.)

Exponenciális tölcser: hangszugárzás hatásfokának javítására, kisebb igényű térhangosításra, mert a kis frekvencián is jó túl nagy lenne.

9. Mintakérdések az előző fejezetekhez

9.1. feladat {39} Definiálja a (hang)intenzitás szint fogalmát. Adja meg az intenzitás szint és az intenzitás egységét. Mit tud a viszonyítási alap értékéről?

9.2. feladat {40} Milyen frekvenciatartományba esik az emberi beszédhang (azaz mit szokás átvenni telefonon), illetve a zenei hangok?

9.3. feladat {41} Mit jelent a hangelnyomás? Hol használják ki a jelenséget?

9.4. feladat {42} Milyen mikrofonokat és milyen célra használnak? Írja (és ahol szükséges rajzolja) le a működési elvüket!

9.5. feladat {43} Mire szolgál, és hogyan működik a CCD?

9.6. feladat {44} Rakjuk növekvő sorrendbe az alábbi színeket hullámhosszaik illetve frekvenciáik szerint: sárga, kék, vörös, infravörös, ultraibolya! Melyikre legérzékenyebb ezek közül a szem?

9.7. feladat {45} Rajzoljuk fel és magyarázzuk el a láthatósági függvényt! Írjuk rá vörös, kék, sárga színeket a megfelelő hullámhosszakhoz!

9.8. feladat {46} Az optimális látószög és az emberi szem felbontása alapján számoljuk ki, hány pixelt érdemes használni a képernyőn!

10. Átviteli csatornák hatékony kihasználása (multiplexálás)

10.1. feladat {47} Milyen csatornamegosztási módokat ismerünk? Röviden írja le, melyik mit jelent!

10.2. feladat {48} Ismertesse vázlatosan, hogyan épül fel a FDM-rendszerek csatornarendszere! Nem kell pontos csatornaszám.

10.3. feladat {49} Milyen jellel történhet az időosztásos rendszerek esetén a jel átküldése? Mennyi időnként kell jelet küldeni beszédátvitel esetén? Hogyan kapjuk ezt az értéket?

10.4. feladat {50} Hogyan számszerűsítjük a jel zajosságát? Milyen típusú zajokat ismerünk?

10.5. feladat {68} Milyen esetben alkalmazunk frekvencia- és milyen esetben időosztásos multiplexálást?

10.6. feladat {69} Hogyan oldjuk meg, hogy egy városban a bejövő jelekből egyszerűen leszűrjünk a városnak szánt telefonjeleket?

10.7. feladat {70} Milyen jeleket továbbíthatunk időosztásos multiplexálással?

10.8. feladat {71} Hány bit/s átviteli sebesség kellene egy beszédhang átviteléhez, ha az egyes mintavett jeleket 6 bitre kvantálnánk? Magyarázzuk el az eredményt!

10.9. feladat {72} Időosztásos rendszerben hogyan biztosítjuk, hogy meg tudjuk állapítani, melyik időrésnél tartunk, azaz, hogy ne csússzon el a vevő hosszabb távon sem!

11. Igazak-e?

Igazak-e az alábbi állítások? Válaszunkat indokoljuk!

a) A kis csillapítású vezetékeknél a v fázissebesség mindig függ a frekvenciától.

b) Ha egy beszéd tartományba eső jelet AM-DSB modulációban bocsájtunk ki, akkor elég hozzá 4000 Hz sávszélesség. (A beszéd tartomány felső határa 3400 Hz.)

12. Antennák

12.1. Villamosságtani ismétlés és kiegészítés

Egy adó teljesítménye azt mutatja meg, hogy egységnyi idő alatt mennyi energia távozik belőle. Képlettel:

$$P = \frac{\Delta E}{t},$$

azaz ha például ha 4 MJ energiát bocsájt ki 2 másodperc alatt, akkor a teljesítménye

$$P = \frac{4 \text{ MJ}}{2 \text{ s}} = 2 \text{ MW}.$$

A kibocsájtott sugárzásnál a teljesítmény nagysága az elektromos térerősség négyzetével arányos. Hasonló arányosság áll fenn a az ellenálláson „elfüstölő” teljesítmény és a rajta eső feszültség között.

A villanytanban két feszültség ill. teljesítmény arányát gyakran átváltottuk decibel-skálába. Ezzel sokszor kellemesebb számolni. Például ha tudom két áramkör csillapítását, akkor egymás után kapcsolva, a csillapítások decibelben mérve összeadódnak, aránnyal mérve szorozódnak.

A decibel skálát a feszültségarányok esetén és a teljesítményarányok esetén kicsit más módon kaptuk meg, amelynek az az oka, hogy az ellenálláson „elfüstlő” teljesítmény a rajta eső feszültség négyzetével arányos: $P = U^2/R$. Mivel a kettő hatvány a logaritmus elé kivihető, ezért az együtttható kettős szorzóval eltér a két esetben.

$$G = 10 \lg \frac{P_{ki}}{P_{be}} = 20 \lg \frac{U_{ki}}{U_{be}}$$

Az alábbiakban hasonló lesz a helyzet az elektromos térerősség nagysága E és a teljesítménysűrűség S esetében.

$$G = 10 \lg \frac{S_1}{S_2} = 20 \lg \frac{E_1}{E_2}$$

Az elektromos térerősség jellemzi azt hogy a térben milyen gyorsan és milyen irányban változik az elektromos potenciál. Ha a térerősség nagysága $E = 10 \text{ V/m}$, akkor a térerősségvektor irányában méterenként 10 V-tal változik a potenciál, feltéve, hogy egyenletesen változik. (A két pont közötti elektromospotenciál-különbséget neveztük a két pont között feszültségnek.)

A teljesítménysűrűség pedig azt jelenti, hogy az antennától (adott irányban, elég messze) egy négyzetméter felületen mekkora teljesítmény halad át. Ha egy helyen 1 mW teljesítmény halad át az egy négyzetméteres felületen, akkor a teljesítménysűrűség ott

$$S = \frac{2 \text{ W}}{1 \text{ m}^2} = 2 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}.$$

Mindkét mennyiség vektor, azaz irányuk is van. Az elektromos térerősségvektor arra mutat, amerre ott egy pozitív töltés elmozdulna, tehát a kisebb potenciálú (negatívabb) hely felé. A teljesítménysűrűség-vektor iránya arra mutat, amerre ott az energia halad.

12.2. Rádiófrekvenciás hullámtartományok

Az alábbi tartományokat foglalták le a rádiózás számára. A le nem foglalt tartományokat egyéb célokra használják (pl. katonaság, távirányítós autó).

Hullámtartomány	Angol	Frekvenciahatárok	Alkalmazási terület
Hosszúhullám	LF – low freq.	150–185 kHz	AM rádió
Középhullám	MF – middle freq.	520–1600 kHz	AM rádió
Rövidhullám	HF – high freq.	3,9–26 MHz	AM rádió
Ultrarövidhullám		60–110 MHz	FM rádió
	VHF – very high f.	50–460 MHz	TV
	UHF – ultra high f.	470–1000 MHz	TV
Mikrohullám		1 GHz–	földi és műholdas távközlés

12.3. Antennák jellemzői

Hullámimpedancia (Z_0). Korábban már szerepelt, a komplex feszültség és áram hányadosa.

Teljesítménysűrűség. Azt mutatja meg, hogy egységnyi felületen mekkora teljesítmény halad át. *Izotróp antennának* nevezzük azokat, amelyek minden irányba azonos teljesítménysűrűséget bocsájtanak ki. Ezek esetén a teljesítménysűrűség a kiSugárzott teljesítményből (P_S) a következőképp számolható:

$$S_0 = \frac{P_S}{4\pi r^2}.$$

Antennanyereség. Az antennanyereséget az előbb kiszámolt S_0 értékkel definiáljuk. Az antenna főirányán azt az irányt értjük, amerre egy adott (viszonylag nagy) távolságban legnagyobb (S_1) a teljesítménysűrűség értéke. Ekkor a G antennanyereséget a következőképp számoljuk:

$$G = \frac{S_1}{S_0}$$

Mit értünk a viszonylag nagy távolságon?

A sugárzásnak három tagja van, melyek $1/r$ -rel, $1/r^2$ -tel illetve $1/r^3$ -bel arányosak. Tehát nagy távolságban az első tag lesz mérvadó. Levezethető, hogy akkor lesz egyenlő az $1/r^2$ -es tag az $1/r$ -essel, ha

$$r = \frac{\lambda}{2\pi}.$$

Amennyiben ennél jelentősen (mondjuk 10-szer) nagyobb a távolság, akkor csak az $1/r$ -es tagot kell figyelembe venni. Ezt a tagot ezért távolhatási mezőnek nevezzük, a másik kettőt pedig közelhatási mezőnek.

A tér bármely pontjában kiszámolható a Poynting-vektor az

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}$$

képlet alapján. Itt az \vec{E} jellemzi az elektromos térerősséget (V/m egységgel), a \vec{H} pedig a mágneses teret jellemzi. Ez a két mennyiség a tér bármely pontjában bármely pillanatban egyértelműen létezik (mégmérhető). Az \vec{S} vektor iránya mutatja ebben a pontban és időpillanatban az energia terjedési irányát és az áthaladó teljesítménysűrűséget (másodpercenként és felületegységenként áthaladó energia) is.

Az antennától távol ez a vektor az antennától távolodó irányba mutat. A közelhatási sugárzás tere nem ad energiaszállítást, mert az elektromos és mágneses tér fázisa 90° -kal eltér.

Ha az adót körbeveszem egy elég nagy sugarú gömbfelülettel, amelynek a középpontjában van az adó, akkor a teljesítmény mindenhol a felületre merőlegesen halad kifelé, az \vec{S} merőleges a felületre. Ha ezt a felületet elég kicsi részekre osztom ahhoz, hogy a felületdarabokon állandónak tekinthető az \vec{S} vektor értéke, akkor az egyes darabokon megkapom a kimenő teljesítményt, ha az \vec{S} vektor nagyságát megszorozom a felületdarab nagyságával. Ezeket összegezve megkapom a teljes kisugárzott teljesítményt.

Kell még:

A kisugárzott teljesítmény, Poynting-vektor

Feszültség- és teljesítmény iránykarakterisztika kapcsolata

Hatásos felület

Föld hatása az antennákra

Jellemző karakterisztikák

Sarokreflektorok, mitől függ a jelleggörbe alakja

Felszíni hullámok csillapítása

A föld görbülségének és a légkörnek (ionoszféra) a hatása

Műholdas összeköttetések

12.4. Mintafeladatok az antennákhoz

12.1. feladat {73} Mikor lesz az $1/r$ -es tag és az $1/r^2$ -es tag egyenlő, ha egy 1000 kHz-es középhullámú jelet sugároz ki az antenna? Segítség: Antennák 7. diáján

12.2. feladat {74} Mekkora lesz egy izotróp antenna kisugárzott teljesítménysűrűsége az antennától 1 km-re, ha a kisugárzott teljesítmény 2 MW?

12.3. feladat {75} Párosítsuk a magyar elnevezéseket az angol rövidítésekkel.

- rövidhullám, középhullám, hosszúhullám
- HF, MF, LF

12.4. feladat {76} Válassza ki a helyes befejezést. A légkör az URH-adás hatótávolságát

- jelentősen növeli.
- kis mértékben csökkenti.
- nem változtatja meg lényegesen.

13. Rádiólokáció

13.1. Kiegészítések

A céltárgy passzív, ha a ráeső hullámokat csupán visszaveri, aktív, hogyha azokat veszi, feldolgozza és erősítés után visszasugározza.

Az előbbi esetben a céltárgy távolságának negyedik hatványával fordítottan arányos a vevő által vett jel teljesítménye.

A folytonos üzemű (continuous wave) modulációs lokátor grafikonján a frekvenciát folyamatosan változtatjuk, egyenletesen növeljük majd csökkentjük. A visszavert jel az R távolságú céltárgyról

$$T = \frac{2R}{c}$$

időkéséssel jön vissza. Ha az adott és vett jelet „ütköztetjük”, azaz a frekvenciájuk különbségét vesszük, akkor egy álló céltárgy esetén a b) ábrán látható függvényt kapjuk.

Ez ad lehetőséget a Doppler-féle frekvenciaeltolódás mérésére. Ha az adott és a vett jelet egymásból kivonjuk, akkor a c) ábrán láthatjuk, hogy hogyan jelenik meg a Doppler-eltolódás a b) ábrához képest.

13.2. Mintafeladatok

13.1. feladat {77} Mit nevezünk passzív rádiolokációnak? Hogyan változik a jel erőssége a céltárgy távolságával?

13.2. feladat {78} Hogyan nevezzük a radar fényvel illetve hanggal működő „rokonát”?

13.3. feladat {79} Hogyan számítható a Doppler-eltolódásnál az eltolódás frekvenciája?

13.4. feladat {85} Hogyan működik a folytonos üzemű modulációs lokátor?

14. Rádiócsillagászat

14.1. Kiegészítés

A rádiótávcsövek (és más távcsövek) felbontóképesége a nagyobb átmérővel növekszik, kisebb szögtávolságot el tud különíteni. Az átmérőt nem érdemes akármennyire fokozni, viszont a felbontást más módon is meg lehet növelni. Ha két rádiótávcső egymástól 1 km-re helyezkedik el, akkor a jeleiket összevetve (interferáltatva) olyan felbontás érhető el, mintha a távcső 1 km átmérőjű lenne. Ezért használnak gyakran egyszerre több rádiótávcsövet. (Persze az érzékenység nem nő akkorára, csak a távcsövek felületének összegével lesz arányos.)

14.2. Mintafeladatok

14.1. feladat {80} Milyen egysége van a fluxussűrűségnek?

14.2. feladat {81} Hogyan kapható a rádiófényesség? Mi az egysége?

15. Műholdas helymeghatározás

15.1. Mintafeladatok

15.1. feladat {82} Hány műhold kell legalább a helymeghatározáshoz? Magyarazzuk meg, miért.

15.2. feladat {83} Milyen helymeghatározó rendszerek üzemelnek, illetve vannak kiépítés alatt?

15.3. feladat {84} Hogyan biztosítható a műholdak vivőjeleinek pontossága?

16. Analóg és digitális rádiózás

16.1. Kiegészítések

Egy rezgőkörrel elég kicsi szelektivitás érhető el, más szóval nehéz elérni, hogy a közeli frekvenciasávokba levő adások ne hallatsszanak át. Az ilyen típusú vevőket hívják *egyenes* vevőknek.

Ezért egy fix frekvenciatartományra szoktak egy jó szelektivitású szűrőt készíteni, és az eredeti modulált jelet olyan frekvenciájú jellel szorozzák meg, hogy a „szorzatfüggvény” a megfelelő frekvenciatartományba essen. Ezt hívják *transzponálásnak*, az ilyen típusú vevőt pedig *szuperheterodin* vagy röviden *szuper típusú* vevőknek.

16.2. Mintafeladatok

16.1. feladat {59} Milyen hátrányai vannak az egyenes vevőknek? Milyen megoldás van erre?

16.2. feladat {60} Hogyan állítják elő a MONO és SZTEREO vételére is alkalmas rádiójelet? Hogyan állítjuk vissza a SZTEREO jelet?

16.3. feladat {61} Milyen jelenségeket vesznek figyelembe a digitális hangok forráskódolásánál (tömörítésénél)?

17. Analóg és digitális televíziózás

A tananyag és a mintakérdések a „Kiegészítések a segédlethez” fájlban.

18. Összetett hálózatok

A tananyag az elearning oldalról elérhető külön fájlban (Összetett hálózatok vizsgálata).

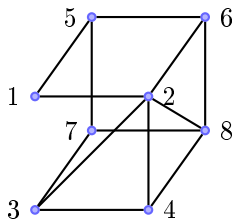
1. Mit nevezünk teljes gráfnak? Mit tudunk az egyes csúcsok fokszámairól? Hány éle van?
2. Milyen kapcsolat van az átlagos fokszám, az élek száma és a csúcsok száma között? Mi a helyzet irányított gráfoknál?
3. Mit jelent egy hálózat (gráf) fokszámeloszlása, összegzett fokszámeloszlása?
4. Mit nevezünk véletlen gráfnak? Mi jellemzi a fokszámeloszlását?
5. Mit nevezünk skálafüggetlen hálózatnak? Milyen függvény jellemzi a fokszámeloszlását? Milyen ábrázolási móddal ellenőrizhető, hogy ilyen egy hálózat?
6. Milyen skálafüggetlen hálózatokat ismerünk? Mindegyikben mondjuk meg, mik a csúcsok, és mik az élek, illetve irányított-e!
7. Milyen modellel hozhatunk létre skálafüggetlen hálózatot? (modell neve és leírása)
8. Hasonlítsuk össze a skálafüggetlen és a véletlen hálózat viselkedését a véletlen meghibásodással, illetve a célzott támadással szemben.
9. Mit jelent a csoportterösségi együttható (csúcsé, hálózaté)? Milyen értékei lehetnek?
10. Mit jelent az, hogy egy hálózat hierarchikus? Mondjunk példát hierarchikus és nem hierarchikus hálózatra!
11. Mely magyar (származású) tudósok kapcsolhatóak a hálózatok és véletlen gráfok témaköréhez?

18.1. feladat {113} Hány éle van egy 1001 csúcsú teljes gráfnak? Mekkora az egyes csúcsok fokszáma?

18.2. feladat {114} Várhatóan hány éle van egy 1001 csúcsú véletlen gráfnak, ha a csúcsok összekötöttségének valószínűsége $p=0,02$? Mekkora egy csúcs fokszámának várható értéke? (Kicsit nehezebb, de érdekes kérdés: Mekkora a csoportterösségi együttható várható értéke egy csúcs esetén?)

18.3. feladat {115} A Barabási–Albert modell szerint növeszték egy hálózatot, minden lépésben $m = 3$ új élt adtak hozzá. $N_0 = 3$ csúccsal és $M_0 = 3$ éllel indulva hány él lesz, ha a csúcsok száma eléri a 10000-et? Közelítőleg mekkora lesz az átlagos fokszám?

18.4. feladat {116} Mekkora az 1., 2. és 3. csúcs csoportterösségi együtthatója? (Kitartóbbaknak: Mekkora az egész hálózaté?)



19. Vizsgatételek

A vizsga a tematikában leírt módon zajlik.

1. Jelek spektruma. A Fourier-sor és a Fourier-integrál (melyiket milyen jel esetén használhatjuk). Harmónikus és négyszögjel spektruma.
2. A diszkrét és a gyors Fourier-transzformáció (lényege, műveletigénye). Jelek és osztályozásuk.
3. Analóg modulációk típusai, előnyeik, hátrányaik, alapsávi kódolások.
4. Impulzus- és digitális modulációk, az átviteli sebesség és a jelváltási sebesség.
5. Digitális jelek előállítás.
6. Hullámok alapvető jellemzői (λ , f , ω , T) és kapcsolataik. Vezetékek. Melyik milyen frekvenciatartományban használható.
7. Optikai szálak I. (az optikai szálak felépítése, törésmutató, a módusok)
8. Optikai szálak II. (a szál csillapítása, száltípusok és jellemző csillapításuk).
9. A távvezeték-egyenlet és megoldása (6. képletig)
10. A távvezeték-egyenlet megoldásának következményei: visszaverődés, sebesség, ideális és kis csillapítású vezeték (5. képlettől)
11. Emberi érzékelés: hang és fény.
12. Jelátalakítók (hang, fény).
13. Multiplexálás, zajok osztályozása.
14. Antennák I. (teljesítmény, decibel-skála, kisugárzott teljesítmény, iránykarakterisztikák, hatásos felület, Föld és légkör hatása, műholdas összeköttetések).
15. Antennák II. (hullámtartományok, hullámimpedancia, teljesítménysűrűség, antennanyereség, Poynting-vektor).
16. Analóg rádiózás. Sztereo hangátvitel. A transzponálás lényege. Színátvitel az analóg televíziózásban. Váltott soros letapogatás.
17. Az MPEG-2 adatfolyam, az MPEG változatai, Európai szabványok a digitális rádiózásban/televíziózásban, képfelbontások.
18. Az állókép, mozgóképek és hang tömörítése
19. (levelezősöknek) Összetett hálózatok, fokszámeloszlásuk, csoportterösségi együttműködés, hierarchikus hálózatok, a hálózatok sérülékenysége
20. (levelezősöknek) Rádiólokáció
21. (levelezősöknek) Rádiócsillagászat, műholdas helyzetmeghatározás
19. (nappalisoknak) Rádiólokáció, műholdas helyzetmeghatározás
20. (nappalisoknak) A hibajavító és hibajelző módszerek
21. (nappalisoknak) A CD hibatűrő képességét biztosító módszerek

20. Távos–levelező beadandó feladatok

20.1. feladat {86} Határozzuk meg az alábbi jel esetén a körfrekvencia, a frekvencia, a periódusidő értékét, valamint a (valós együtthatós) trigonometrikus és a (komplex együtthatós) exponenciális alak együtthatóit: az a_i, b_i, X_i értékeket i értelmes értékeire?

$$x(t) = 380 \text{ V} \cos(314t) + 12 \text{ V}$$

20.2. feladat {87} Legyen a jel nagyságának időfüggése a következő:

$$x(t) = \begin{cases} 5 \text{ V}, & \text{ha } t \in]0, \pi \text{ s}[\\ -1 \text{ V}, & \text{ha } t \in]-\pi \text{ s}, 0[\end{cases} \quad x(t + 2\pi \text{ s}) = x(t)$$

(A π utáni s a mértékegység.) Mekkora az alap körfrekvencia? Írjuk fel a Fourier-sor (valós együtthatós) trigonometrikus alakját. Bontsuk fel a legkisebb frekvenciájú összetevőt (másnéven alapharmonikust) (komplex együtthatós) exponenciális összetevőkre is. Azaz mekkora X_1, X_{-1}, X_0 ? Rajzoljuk fel a spektrumot mindkét alakban.

20.3. feladat {89} Határozzuk meg az alábbi jel két tagjának T_1 és T_2 periódusidejét külön-külön! Periodikus-e az alábbi jel? Ha periodikus a jel, akkor mekkora a T periódusidő és az ω_0 alap-körfrekvencia?

$$x(t) = 2 \cos(3\pi t) + 5 \sin(2\pi t)$$

20.4. feladat {92} Határozzuk meg az 1 kHz-es fájdalomküszöb intenzitását a megfelelő grafikonról leolvastva az intenzitásszintet (függőleges tengely). Mekkora nyomásingadozásnak felel meg?

Útmutató. Ehhez meg kell nézni a Kiegészítések a segédlethez című tananyagban a p és I közötti összefüggést. Ugyanott megtalálható a grafikon, amelyről a fájdalomküszöböt dB-ben leolvashatjuk.

20.5. feladat {25} Mekkora idő alatt halad végig egy fényjel azon a 20 km-es üvegszálon, melynek magja $n_{\text{mag}} = 1,54$ törésmutatójú?

Segítség: Használjuk fel a törésmutató definícióját.

20.6. feladat {28} Maximum mekkora hosszú egymódusú szálát használhatok, ha 5 GHz sáv szélességet szeretnék elérni. A szál fajlagos sáv szélessége 100 GHz·km.

20.7. feladat {53} Mekkora lesz (a vákuumban) 440 nm-es fény hullámhossza és frekvenciája egy 1,6 törésmutatójú üvegben.

20.8. feladat {117} Milyen intervallumban változhat egy 90 Ω -os hullámimpedanciájú koaxiális kábel lezárásának impedanciája, hogy a vezeték végén visszavert jel amplitudója kisebb legyen, mint az eredeti jel 5 %-a? (Tekintsük úgy, mintha tisztán ohmikus ellenállás lenne mindkét impedancia!)

20.9. feladat {93} Ha a képpontonként 8 biten tárolom a fényességjelet és 4-4 biten a színekülönbségjelet, akkor mennyi bit kell egy kép átviteléhez tömörítetlen képátvitel esetén a kisebbik HD-felbontásnál. Mekkora lenne a bitsebesség 30 kép/s esetén?

20.10. feladat {90} Mekkora az $\omega = 5 \frac{\text{krad}}{\text{s}}$ -os és $\omega = 10 \frac{\text{krad}}{\text{s}}$ -os jel sebessége a vezetőben (Dieselhorst-Martin érnégyesben), ha $R = 300 \frac{\Omega}{\text{km}}$; $G = 1 \frac{\mu\text{S}}{\text{km}}$; $L = 0,8 \frac{\text{mH}}{\text{km}}$; $C = 42 \frac{\text{nF}}{\text{km}}$?

Mekkora értéket kapok, ha a kis csillapítású közelítést használom? Mekkora lesz a hullámimpedancia és a csillapítási tényező? Mekkora a futásidő-különbség egy 300 m-es vezetéken az $\omega = 5 \frac{\text{krad}}{\text{s}}$ -os és $\omega = 10 \frac{\text{krad}}{\text{s}}$ -os jel között?

Megjegyzés. R, G, L és C a szokásos egységekhez képest még egy /km nevezőt tartalmaznak, az összes összefüggés ebben a segédletben és a főlíakon a távvezeték egyenletes képletekben ilyen egységben értendő (egységnyi hosszra eső ellenállás stb.).

Útmutató. A β meghatározásához meg kell határozni a γ képletében a zárójel alatt szereplő érték valós és képzetes részét. Azt trigonometrikus alakra kell hozni, hogy gyököt vonhassunk belőle.

Pl. $\gamma^2 = z = 0,3 + 0,4j$ esetén megnézzük a számolás menetét. Érdemes ábrázolni a komplex számsíkon. A I. síknyegybe esik:

$$\text{tg } \varphi = 0,4/0,3 = 1,333 \Rightarrow \varphi = 53,13^\circ$$

$$r = |z| = \sqrt{a^2 + b^2} = 0,5$$

Ennek a négyzetgyökei:

$$\begin{aligned}\gamma_1 &= \sqrt{0.5} \cdot \left(\cos \frac{53.13^\circ}{2} + j \cdot \sin \frac{53.13^\circ}{2} \right) \\ \gamma_1 &= 0.7071(0.8944 + j \cdot 0.4472) = 0.6325 + j0.3162 \\ \gamma_2 &= -\gamma_1 = -0.6325 - j0.3162\end{aligned}$$

A pozitív irányba haladó hullámhoz a pozitív α tartozik, tehát annál:

$$\alpha = 0.6325 \text{ [rad/km]}$$

$$\beta = 0.3162 \text{ [rad/km]}$$

A sebesség a β értékből már meghatározható.

Vegyük észre, hogy a másik gyök negatív sebességet és a vezeték eleje felé csökkenő amplitúdót ad. Ez jellemző a visszafelé haladó – a másik végén visszavert – $u^-(x, t)$ hullámra.

20.1. Ezeket nem kell beküldeni

20.11. feladat _{91} A folytonos üzemű modulációs lokátor esetén, a 178. dián a repülőgépről vett jel időkésése $200 \mu\text{s}$, a Doppler-féle frekvenciaeltolódás $f_d = 24 \text{ kHz}$, a lokátor frekvenciája $f_L = 30 \text{ GHz}$. Mekkora a repülő v_r radiális sebessége és a távolsága?

20.12. feladat _{88} Hányszor több művelet kell a diszkrét Fourier-transzformációhoz, mint a gyors Fourier-transzformációhoz, ha $N = 2048$.

20.13. feladat _{94} Mekkora értéknél van a maximuma a fokszámeloszlásnak egy 5001 csúccsal rendelkező véletlen gráfban, ha az összekötés valószínűsége $p = 0,01$? Mekkora az élek számának várható értéke?

20.14. feladat _{103} Mennyi él van egy olyan 10000 csúcspontú hálózatban, amelyet a Barabási-Albert modell szerint állítottunk elő úgy, hogy minden lépésben $m = 3$ élt adtunk a hálózathoz? Mekkora a fokszámok átlaga? Kezdetben egy 3 csúcsból álló körből indultunk ki.

21. Zárthelyi nappali képzésen

A követelményrendszerben szereplő részekből lesz számonkérés, de a következő részek nem szerepeltek, úgyhogy nem lesznek a 2012-es zárthelyiben: HDB3, EFM, szemábra

A zárthelyi során feladatok és elméleti kérdések is szerepelnek, a feladatok aránya nagyjából 60%. Az egyes részekhez tartozó mintafeladatokat érdemes végigcsinálni. (Elméleti kérdések is szerepelnek a mintakérdések között.)

A zárthelyihez számológép használható, képletgyűjtemény viszont nem.

A zárthelyihez a spektrummal kapcsolatban a távós beadandó (20. fejezet) 1. feladatcsoportnál szereplő első három feladatot érdemes tanulmányozni. A spektrumról szóló segédlet is megtalálható az elearning.uni-obuda.hu oldalon.

A zárthelyiben szerepelhetnek még

- az optikai szálakban és fémes vezetőkben a jel futási idejének kiszámítása (törésmutató illetve fázistényező függvényében),
- a teljes visszaverődéssel kapcsolatos számítások,
- a jel frekvenciájának illetve hullámhosszának megváltozása egyik optikai közegből a másikba haladva,
- a kis csillapítású vezetéken torzítatlan átvitelhez tartozó vezetékjellemzők kiszámítása (R, C, L, G közül három ismert, egy meghatározandó).
- visszaverődést vezeték végéről.
- Le kell tudni rajzolni adott bitsorozatot ASK, FSK és PSK modulációval.
- Adatátviteli és szimbólumváltási sebesség (bit/s ill. Baud).
- Kell tudni számolni két kódszó illetve egy kód Hamming-távolságát.
- Izotróp antenna teljesítményéből adott távolságban teljesítménysűrűség számítása.
- Milyen magasra kell rakni a gömb alakú Földön az mikrohullámú antennát, hogy adott távolságból látsszon?

Bármilyen feladatban szükség lehet a körfrekvencia, frekvencia és periódusidő közötti átszámításra.

Bármelyik számításnál az órán vett számítási iránnyal ellenkező is előfordulhat. Például sebességből (futásidőből) törésmutató a törésmutatóból sebesség (futásidő) helyett.

Tartalomjegyzék

1. Jelek és osztályozásuk	1
1.1. Szükséges tudnivalók	1
1.2. Mintakérdések	2
2. Modulációk	2
2.1. Szükséges tudnivalók	2
2.2. Mintakérdések a modulációk témaköréhez	4
3. Digitális jelek előállítása	5
3.1. Szükséges tudnivalók	5
4. Hullámokkal kapcsolatos összefüggések ismétlése	5
5. A jelátvitel fizikai közegei és a vezetett hullámú összeköttetések	5
5.1. Szükséges tudnivalók	5
5.1.1. Optikai alapok	6
5.1.2. Optikai szálak	7
5.2. Mintakérdések az optikai szálakhoz	10
6. Távvezeték-elmélet	11
6.1. A távvezeték-egyenletek levezetése és elemzése	11
6.2. Hullámimpedancia	12
6.3. Ideális vezeték	12
6.4. Reflexiós koefficiens (r)	12
6.5. Kis csillapítású vezeték	13
6.6. Torzításmentes átvitel	13
6.7. Mintafeladatok a távvezeték-elmélethez	13
7. Emberi érzékelés	14
7.1. Hangtechnikai alapok	14
7.2. Fénytechnikai alapok	14
8. Jelátalakítók	14
9. Mintakérdések az előző fejezetekhez	15
10. Átviteli csatornák hatékony kihasználása (multiplexálás)	15
11. Igazak-e?	15
12. Antennák	15
12.1. Villamosságtani ismételés és kiegészítés	15
12.2. Rádiófrekvenciás hullámtartományok	16
12.3. Antennák jellemzői	16
12.4. Mintafeladatok az antennákhoz	17
13. Rádiólokáció	17
13.1. Kiegészítések	17
13.2. Mintafeladatok	18
14. Rádiócsillagászat	18
14.1. Kiegészítés	18
14.2. Mintafeladatok	18
15. Műholdas helymeghatározás	18
15.1. Mintafeladatok	18

16. Analóg és digitális rádiózás	18
16.1. Kiegészítések	18
16.2. Mintafeladatok	18
17. Analóg és digitális televíziózás	19
18. Összetett hálózatok	19
19. Vizsgatételek	20
20. Távos–levelező beadandó feladatok	21
20.1. Ezeket nem kell beküldeni	22
21. Nappalis zárthelyi	23