

# Infokomm pótZH megoldások v1.10

//Norbi

2009. január 9.

Ezt a doksit óvatosan használd. Egy halandó hallgató írta, akinek még Szuper Tehén Ereje sincs. Ennek megfelelően *semmilyen garanciát sem vállalok*.

## 1. feladat

Egy szinuszos jelet szolgáltató függvénygenerátor jelét hangszóróra vezetjük. Az így előállított, éppen hallható 10 kHz frekvenciájú hang hangnyomásszintje 10 dB. A generátor frekvenciáját 1 kHz-re csökkentve, a mért hangnyomásszint 30 dB lesz, tovább csökkentve 100 Hz-re a hangnyomásszint 0 dB lesz (az előállított jel amplitúdója közben nem változott!).

- Mekkora a 10 kHz-es hang hangossága *phon*-ban?
- Mekkora az 1 kHz-es hang hangossága *phon*-ban?
- Mekkora a 100 Hz-es hang hangossága *phon*-ban?
- Mivel magyarázza, hogy a mért hangnyomásszintek eltérőek, holott mind a három esetben azonos a generátor jelének amplitúdója?

## Megoldás

- Az éppen hallható hang 0 phon minden frekvencián (definíció).
- A hangnyomásszint és a phon skála 1 kHz-en azonos tehát 30 dB 1 kHz-en pontosan 30 phon.
- A fülünk 1 és 4 kHz között a legérzékenyebb, 1 kHz alatt az érzékenysége csökken. Mivel az 1 kHz 0 dB épphogy hallható, ezért 100 Hz-en a 0 dB hangosságú hangot egyszerűen nem halljuk.
- A hangszórók átvitele a legritkább (inkább legdrágább) esetben lineáris. Általában nyugodt szívvel mondhatjuk, hogy egy hangszóró ugyanolyan amplitúdójú, de más frekvenciájú bemenő jelre más hangnyomást produkál. A hang előállításának megvannak a korlátai, ezért változnak a hangnyomásszintek.

## 2. feladat

Van olyan TV készülék, amelyet a DVD lejátszóval három vezetékpár –  $Y$ ,  $Cb$ ,  $Cr$  feliratú – köt össze. Tegyük fel, hogy  $Cb = B - Y$  és  $Cr = R - Y$  (a valóságban e relációkban az arányossági tényező nem 1)!

- Milyen színű lesz a mennyezőről készült felvételen a menyasszony hófehér ruhája, ha a  $Cb$  és a  $Cr$  kábeleket felcseréljük?
- Melyek azok a színélmények, amelyek e cserére érzéketlenek?
- A csere következtében hogyan változik a képernyő keltette világosságérzet, ha eredetileg minden pixelre  $Cb = +0,7$ , és  $Cr = -0,3$  értékű volt?
- Milyen színérzetet kelthet az a képernyő, aminek minden pixele  $Cb = +0,7$ ,  $Cr = -0,3$  és  $Y = 0,3$ ?
- A csere következtében hogyan változik az eredetileg paprikavörös képernyő keltette színérzet?

### Megoldás

- A fehér marad fehér, hiszen ugyanannyi benne a vörös, mint a kék, tehát  $Cb = Cr$ .
- Azok a színek nem változnak, amelyekre igaz, hogy  $Cb = Cr$ . Ezek ilyen zöldek (ahol  $Cr$  és  $Cb$  kicsik), és bíbor színűek (ahol  $Cr$  és  $Cb$  is nagy), továbbá ilyen persze a fehér, és ezek fényes vagy kevésbé fényes változatai (tehát a szürke és a fekete sem változik).
- A világosságérzetet az  $Y$  feliratú kábel hordozza, a színekülönbségi jelek felcserélésével a világosságérzet nem változik.
- Lássuk,  $B = Cb + Y = 0,7 + 0,3 = 1$ ,  $R = Cr + Y = 0,3 + 0,3 = 0,6$  és  $G = G = (0,3 \cdot R + 0,11 \cdot B - Y) / 0,59 = 0,32$ . Ez ilyen lilás, lásd 1. ábra.
- A paprikavörös az mondjuk csak vörös, tehát  $R = 1$ ,  $G = 0$  és  $B = 0$ . Ebből  $Y = 0,3$ ,  $Cr = 0,7$  és  $Cb = -0,3$ . Jéé, ha megcseréljük az előző feladat színét kapjuk vissza.



1. ábra. Ilyen színű

### 3. feladat

A szimmetrikus kábelek érpárainak jellezgetes paraméterei:  $R = 50 \text{ ohm/km}$ ,  $L = 1 \text{ mH/km}$ ,  $C = 50 \text{ nF/km}$ . AZ üzemi frekvenciasáv  $50 \dots 500 \text{ kHz}$ .

- Határozza meg, mekkora a kábel hullámellenállása és csillapítástényezője  $50 \text{ kHz}$ -en!
- Becsülje meg, hogy mekkora a kábel hullámellenállása és csillapítástényezője  $500 \text{ kHz}$ -en (hányszor nagyobb – kb. azonos – hányszor kisebb, mint  $50 \text{ kHz}$ -en)!
- Ha a kábelerek távolságát növelnők, akkor  $L$  növekedne,  $C$  pedig csökkenne. Hogyan változna meg a kábel hullámellenállása és csillapítástényezője? Előnyös lenne-e ez a változás, vagy sem?
- Milyen hátrányos következményei lehetnek annak, ha az összetartozó erek távol vannak egymástól?

### Megoldás

- a) Hullámellenállás:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j2\pi fL}{j2\pi fC}} = 141,866 - 11,219j,$$

csillapítástényező:

$$\alpha = \Re\{\sqrt{(R + j2\pi f \cdot L) \cdot (j2\pi fC)}\} = 0,176.$$

- b) A hullámellenállás valós része várhatóan nem (alig) változik, a képzetes része csökken (ha kiszámolod kb. a tizedére). A csillapítástényező alig változik. Ha figyelmebe vesszük a skinhatást (hiszen egy átlagos vezeték törésponti frekvenciája  $200\text{--}400 \text{ kHz}$  között van), akkor  $\alpha$  a  $\sqrt{2}$ -szeresére nő, hiszen

$$\alpha = \alpha_0 \cdot \sqrt{\frac{f}{f_0}},$$

és  $f_0 = 250 \text{ kHz}$  ebben a feladatban eléggé kényelmes választás.

- A hullámellenállás kb. a kétszeresére nőne, míg a csillapítás a felére csökkenne. Ez látszólag a barátunk, hiszen messzebbre elvihető a jel, de nem, mert
- induktív zavarok nagyon nagyon könnyen beleszóllhatnának a jelbe, hiszen egy jó nagy karikát csinálnánk.

## 4. feladat

Egy modulált jel időfüggvénye:

$$x(t) = 3A \cdot \cos(2\pi f_0 t) - A \cdot \sin(2\pi f_1 t) \cdot \sin(2\pi f_0 t),$$

ahol tudjuk, hogy  $f_1 \ll f_0$ .

- Az  $x(\cdot)$  jelet egy burkoló demodulátorra vezetjük. Határozza meg a demodulátor kimenő jelét, rajzolja fel léptékhelyesen a jel időfüggvényét!
- Az  $x(\cdot)$  jelet egy szorzó demodulátorra vezetjük, a demoduláló vivő  $v(t) = 2 \cdot \cos(2\pi f_0 t)$ . Határozza meg a demodulátor kimenő jelét, rajzolja fel léptékhelyesen a jel időfüggvényét!
- Az  $x(\cdot)$  jelet egy szorzó demodulátorra vezetjük, a demoduláló vivő  $v(t) = 2 \cdot \sin(2\pi f_0 t)$ . Határozza meg a demodulátor kimenő jelét, rajzolja fel léptékhelyesen a jel időfüggvényét!
- Az  $x(\cdot)$  jelet egy fázis demodulátorra vezetjük. Határozza meg a demodulátor kimenő jelét, rajzolja fel léptékhelyesen a jel időfüggvényét!
- Az  $x(\cdot)$  jelet egy frekvencia-demodulátorra vezetjük. Határozza meg a demodulátor kimenő jelét, rajzolja fel léptékhelyesen a jel időfüggvényét!

## Megoldás

Ez a feladat undorító, és semmi gari nincs arra, hogy a megoldásra adott tippem helyes lesz! Tényleg semmi! Mérnökök leszünk (remélem), szeretnénk tudni, hogy mi is ez a jel. Ez egy QAM jel, ami a koszinuszos tagjában éppen konstans hármast továbbít. Egyébként nem szükséges tudnunk a megoldáshoz, hogy mi ez.

Tapasztalataim szerint sok ember vizuális típus (én pont nem). De az ő kedvükért a 2. ábrán az eredeti jel, a 3. ábrán a szinuszos szorzata látható (az ábrákon  $10f_1 = f_0$ ,  $A = 1$ ).

- Alakítsuk át a jelet. Tudjuk, hogy:

$$a \cdot \cos(x) - b \cdot \sin(x) = \sqrt{(a^2 + b^2)} \cdot \cos(x + \tan^{-1}(b/a)),$$

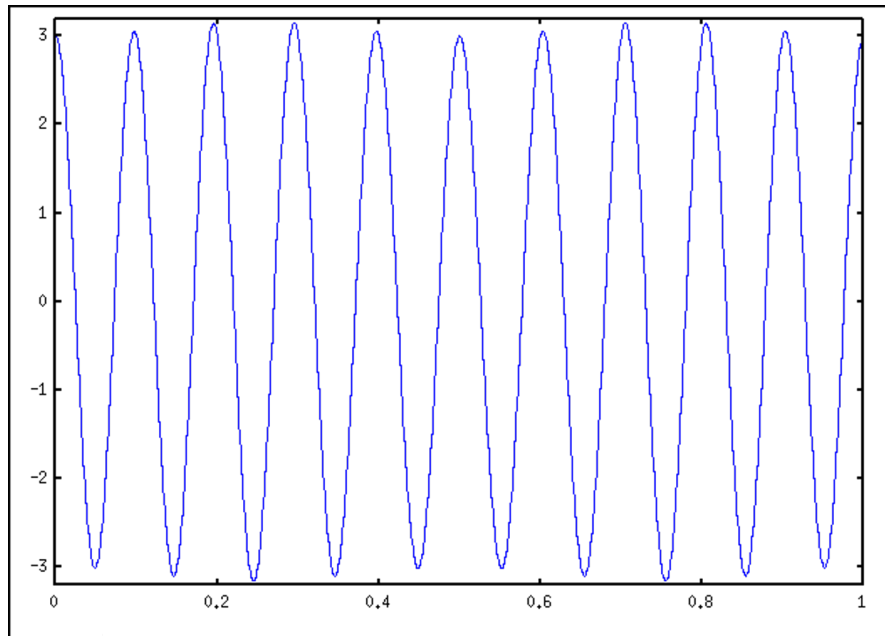
legyen most  $a = 3 \cdot A$ ,  $b = A \cdot \sin(2\pi f_1 t)$ , és  $x = 2\pi f_0 t$ . Helyettesítsünk is be (gyengébb idegzetűeknek nem ajánlom!):

$$\sqrt{9A + A \cdot \sin(2\pi f_1 t)} \cdot \cos \left[ 2\pi f_0 t + \tan^{-1} \left( \frac{A \cdot \sin(2\pi f_1 t)}{3A} \right) \right]. \quad (1)$$

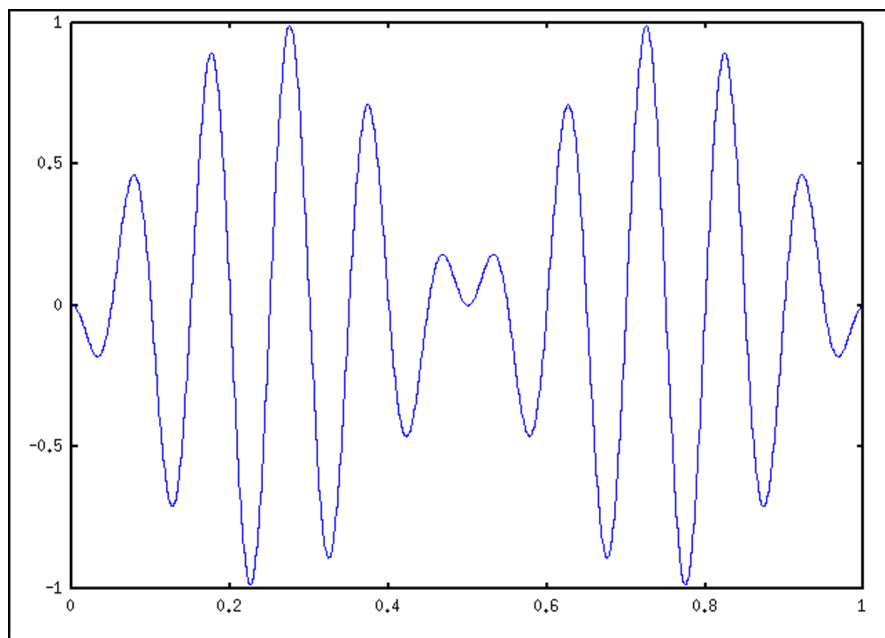
Ha eltekintünk a koszinusz belsejében a csúnya tangenses tagtól, akkor ez egy – bár elég furcsa – amplitúdó moduláció egy jókora ( $9A$ ) egyen szinttel, tehát a burkoló demodulátor megeszi. A kimenete pedig a gyökös kifejezés, azaz

$$\sqrt{9A + A \cdot \sin(2\pi f_1 t)}.$$

Vagy legalábbis ehhez valami eléggé hasonló. Felrajzolni viszonylag könnyű,  $A\sqrt{8}$  és  $A\sqrt{10}$  között ingadozik kicsit olyan szinuszos szerűen.



2. ábra. Az eredeti jel



3. ábra. Csak a szinuszok szorzata

- b) A szorzó demodulátor pont ehhez a jelhez való.  $v(t) = 2 \cdot \cos(2\pi f_0 t)$ -vel való szorzás után visszkapjuk a modulációs tartalmat alapsávban, és még valahol  $4f_0$  körül sok minden mást, amit szűrővel levágunk (ez a demodulátor része ugye?). Tehát a válasz:  $3A$ -t kapunk, feltéve, hogy konstanst ki tud adni magából a rendszer.
- c) Mint az előbb, csak a koszinuszos tartalmát kapjuk vissza, azaz  $A \cdot \sin(2\pi f_1 t)$ .
- d) A fázisdemodulátort kevésbé izgatja a jel amplitúdója, különösen, ha a nullátmeneteket figyelő demodulátorunk van. Visszaemlékezve az 1. képletre, felírhatjuk a demodulátor kimenetén megjelenő függvényt:

$$\tan^{-1} \left( \frac{\sin(2\pi f_1 t)}{3} \right).$$

A tangens argumentumában szereplő érték  $1/3$  és  $-1/3$  között változik, tehát a jel  $\pm 0,32$  között úgy ingadozik a szinusznak megfelelően.

- e) A frekvencia demodulátor a fenti jel deriváltját adja vissza. Szégyenlem, de lehet, hogy el fogom cseszni.

$$\frac{d \tan^{-1}[\sin(2\pi f_1 t)/3]}{dt} = \frac{1}{1 + \sin^2(2\pi f_1 t)/3} \cdot \cos(2\pi f_1 t)/3 \cdot 2\pi f_1$$

Biztos nagyon szép. Éppen ezért gyanús is, hogy elrontottam.

## 5. feladat

Egy QAM rendszer két csatornájában az elemi jelek amplitúdóit a továbbítandó bitsorozat három-bites szeletei (tribitek) határozzák meg, az alábbi táblázat szerint:

tribit	000	001	010	011	100	101	110	111
$d_k$	+1	0	-1	-3	-1	0	+1	+3
$c_k$	+1	+3	+1	0	-1	-3	-1	0

- Rajzolja fel a rendszer konstellációs diagramját!
- A két kvadratúracsatornában a várható  $(d_k, c_k)$  párok helyett  $(-0, 20, +2, 99)$ ,  $(-0, 94, -1, 07)$ ,  $(-1, 08, +0, 93)$ ,  $(-2, 98, -0, 21)$  sorozatot figyelhetjük meg. Rajzolja be ezeket a pontokat a konstellációs diagramba, és nyilatkozzon mi lehetett a megfigyelt értékpárokat okozó tribitek sorozata?
- Mekkora lehetett az erősítéshiba?
- Mekkora lehetett a fázishiba?
- Mekkora lehetett (nagyságrendileg) a megfigyeléseket zavaró zaj szórása?

## Megoldás

- Felveszel egy koordináta rendszert, aminek egyik tengelye  $c_k$  a másik meg  $d_k$ , és ráírod melyik melyik, hogy ne lehessen belekötni. Utána felveszed bele a táblázatban lévő pontokat.
- Ezeket is ugyanúgy beleforkálsz. Nem nehéz kitalálni melyik melyikhez van legközelebb.
- Az erősítéshiba minimális. Úgy kapod meg, hogy a várható  $(d_k, c_k)$  pontok origótól vett távolságát összehasonlítod a valójában megjelenő pontpárokkal. Látható, hogy pl.  $\sqrt{(-2, 98)^2 + (-0, 21)^2} = 2,987 \cong 3$  és  $\sqrt{(-0, 94)^2 + (-1, 07)^2} = 1,424 \cong \sqrt{2}$ . Ez nem annyira fájdalmas hiba.
- A fázishiba viszont nagy. A pontok szögét kell összevetni a várt értékekkel. Pl.  $\tan^{-1}(-1, 08/0, 93) = 130,73^\circ \neq 145^\circ$ . A többi számpárra ugyanígy.
- A zaj kicsi, a jelekhez képest két nagyságrenddel kisebb. Ezt onnan tudni, hogy a fázishiba és az erősítéshiba is minden pontra jó közelítéssel ugyanannyi.