

# A XVIII. Schnell László Méréstechnika és Jelfeldolgozás Verseny feladatai

2018. április 26.

A feladatok megoldásához írásos segédanyag és számológép használata megengedett, de számítógép-használat és a kommunikáció (szomszéd, rádiótelefon, hálózat) tiltott. A megoldásra fordítható idő: 4 óra.

A feladatok különböző súlyúak, természetesen tetszőleges sorrendben megoldhatók, de *minden* feladat megoldását kérjük külön papírra írni. (A megoldás több oldalas is lehet.) A feladatok után azok pontszámát is feltüntettük. Ha egy feladatra valaki több, vagy kiemelkedően szép megoldást ad, jutalompontokat kaphat. Törekedjete arra, hogy tudásotokat a dolgozat szép külalakja is kiemlje!

Figyelem! A feladatlap három oldalból áll!

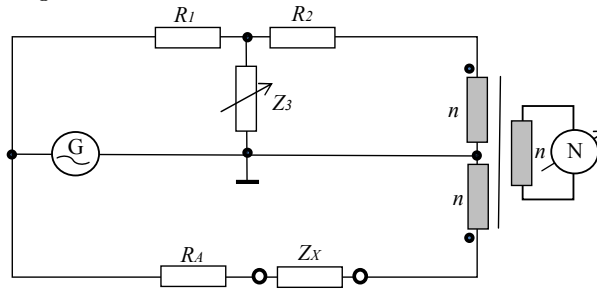
1. Szinuszos jel effektív értékét mérjük digitális módon: a jelet koherensen mintavételezzük, aztán definíció szerint a mintákból kiszámítjuk az effektív értéket  $\left(\hat{y}_{\text{RMS}} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i^2}\right)$ . A mérést egy  $\pm 5$  V mérési tartományú, 10 bites AD-átalakítóval végezzük. Feltételezhetjük, hogy az AD-átalakító karakterisztikájának hibái elhanyagolhatók. Egy adott mérés esetén a mért érték  $\hat{y}_{\text{RMS}} = 20$  mV<sub>RMS</sub>. Mekkora a tényleges effektív érték és mi okozza a hibát? (3 pont)
2. Egy zérus frekvencián egységnyi erősítésű, elsőfokú aluláteresztő rendszer  $\omega_0$  törésponti frekvenciáját úgy mérjük, hogy szinuszos gerjesztést alkalmazva a frekvenciát addig növeljük, amíg a DC erősítéshez képest a kimeneti amplitúdó  $a$ -szorosára változik:  $H(\omega_a) = a$ . Ebből az  $\omega_a$  frekvenciából számítjuk  $\omega_0$  frekvenciát. Az amplitúdómérést  $\pm \Delta a$  értékű véletlen hiba (zaj) terheli. Hogyan számítható a törésponti frekvencia  $\omega_a$ -ból? Hogyan válasszuk meg  $a$  értékét, hogy a törésponti frekvencia mérésének hibája minimális legyen? (5 pont)
3. Egy órával kapcsolatban kizárólag azt a mérési eredményt ismerjük, hogy naponta 1 másodpercet siet. Közömbös, hogy az óra fizikai felépítése milyen, a modellje egy órajel-generátor, amely egy számlálót léptet előre, az időpontot (óra:perc:másodperc) a számláló állásából dekódoljuk. Azt feltételezhetjük, hogy az óra helyesen működik, durva hiba nem lép fel. Mit mondhatunk az óra pontosságáról? Segítség: Vajon hogyan mérték meg ezt a napi 1 másodperc sietést? Az órával mérhetünk 1 napnál rövidebb időtartamokat is, de érdekes lehet, hogy mennyit siet az óra 1 hét, 1 hónap vagy 1 év után. (5 pont)
4. Egy körmös tengelykapcsoló átviteli függvényét mérések alapján a következőként identifikáltuk:

$$W(j\omega) = \frac{1}{1 + j\omega \cdot 9.563 \cdot 10^{-4} \text{ s} + (j\omega)^2 \cdot 4.29 \cdot 10^{-7} \text{ s}^2} \left[ \frac{\text{Nm}}{\text{Nm}} \right]$$

Rajzold fel jellegre helyesen a kuplung ugrásválaszát! Szeretnénk megépíteni azt a legegyszerűbb passzív lineáris villamos ( $RLC$ ) rendszert, amelynek az átviteli függvénye megegyezik a kuplungéval. Rajzold fel, és határozd meg a paramétereit, ha kapacitásból csak  $100 \mu\text{F}$  értékűt használhatunk! Határozd meg az ekvivalens  $RLC$  áramkör időállandójának ( $T_0$ ) és csillapításának ( $\zeta$ ) névleges értékét, valamint worst case bizonytalanságát, ha minden alkatrész tűrése 2%! (5 pont)

5. Adott egy egyenletes eloszlással jól közelíthető,  $N$  elemből álló és  $[0, q]$  intervallumon értelmezett  $y_i$  mintasorozat. A mintasorozat sűrűségfüggvényét hisztogram segítségével becsüljük úgy, hogy a jel lehetséges előfordulási tartományát  $dx$  felbontással egyenlő részekre osztjuk, és megszámloljuk, hogy az adott  $dx_i$  intervallumba hány minta esik (legyen ez  $h_i$ ). Hogyan válasszuk meg az  $N$  mintaszámot, hogy a sűrűségfüggvény mérésének standard relatív bizonytalansága  $u(h_i) = 1\%$  alatt legyen úgy, hogy a sűrűségfüggvényt  $n_h = 10$  pontban mérjük? (7 pont)

6.  $Z_x$  impedanciájú, soros  $RL$  kapcsolással modellezett induktivitást mérünk az alábbi áramkomparátoros kapcsolásban, ahol az áramkomparátor  $n$  menetszámú tekercsekből van felépítve. Add meg a kiegyenlítés feltételét! Hogyan célszerű megválasztani az  $R_A$  ellenállás értékét? A kiegyenlítő elemet ( $Z_3$ ) milyen áramköri elemekből célszerű megvalósítani? Megfelelő-e az ábrán az áramkomparátor tekercseinek bekötési módja? (7 pont)



7. Soros diódás csúcseyenirányítót tervezünk, amelynek  $f = 40$  kHz névleges frekvenciájú szinuszos jeleket kell egyenirányítani. A kondenzátor kapacitása  $C = 33$  nF, az ellenállás értéke  $R = 12$  k $\Omega$ , a dióda nyitófeszültségét elhanyagoljuk. Az egyenirányító bemenetére 50  $\Omega$  belső ellenállású generátor csatlakozik. Rajzold le a generátor áramának időfüggvényét, és adj becslést az áram nagyságára is! Alkalmaz észszerű elhanyagolásokat! (7 pont)

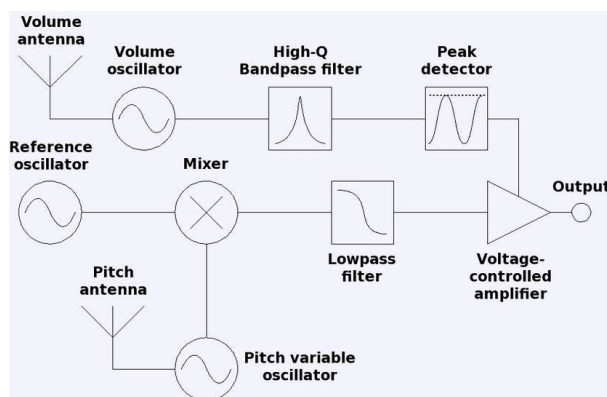
8. Ohmos ellenállást mérünk Wheatstone híddal. Kiegyenlített állapotban, 0.5 V tápfeszültség mellett, a híd digitális voltmérővel mért kimeneti feszültsége 0.000 V. A kiegyenlített hidat  $R$  értékű ellenállások alkotják, amelyek relatív bizonytalansága  $10^{-3}$  (0.1%). Mekkora a mért ellenállás és mekkora a kiterjesztett relatív mérési bizonytalanság, ha az elvárt megbízhatósági szint 95%? (10 pont)

9. Hogyan mérhető meg egy lakóház eredő termikus ellenállása? Az önálló ház fűtése gázkazánnal történik. Milyen hibaforrásokkal kell számolni, és hogyan csökkenthetők az egyes hibák? A mért adatok alapján hogyan számolható ki az eredő termikus ellenállás? (10 pont)

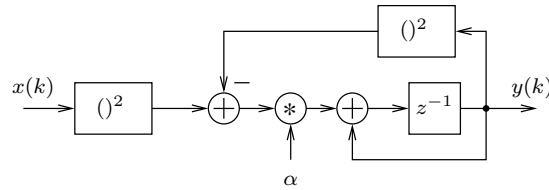
10. Terveztünk egy lineáris fázisú FIR aluláteresztő szűrőt. Csak az impulzusválaszt felhasználva hogyan kaphatjuk meg a komplementer felüláteresztő szűrő impulzusválasztát? (Komplementer szűrő: a szűrő és a komplementer szűrő összegének amplitúdómenete frekvenciafüggetlen és egységnyi.) (3 pont)

11. Egy diszkrét idejű rendszer impulzusválaszának első öt mintája +1 értékű, a következő öt mintája pedig mind  $-2$ . Az ezen kívüli minták mind nullák. Tudjuk, hogy a rendszer bemenetére  $\pm 1$  tartományon belüli jelek kerülhetnek. Adj felső becslést a rendszer kimenőjelére! (3 pont)

12. Az alábbi ábrán az egyik első elektronikus hangszer, a Theremin blokkvázlata látható. A két „antenna” egy-egy fémrúd volt, a játékos a kezét közelítette vagy távolította ezektől. Ezzel valójában az antenna által érzékelt kapacitást hangolta, ezzel pedig a kapcsolódó oszcillátort. Az oszcillátorok közelítően szinuszos jelet generálnak. Az egyik antenna (pitch) a hangmagasságot, a másik (volume) a hangerőt szabályozta. Hogyan működik a Theremin hangerő-szabályozása? (5 pont)



13. Az alábbi ábrán látható áramkör diszkrét periodikus jelek effektív értékének mérésére alkalmas. A blokkvázlatban szereplő  $\alpha$  kicsiny szám, pl.  $\alpha = 0.001$ .



- Mutasd meg, hogy szinuszos jelek esetén  $y(k)$   $x(k)$  effektív értékével egyenlő!
- Mutasd meg, hogy az áramkör bármely periodikus jel esetén is helyesen méri az effektív értéket!

(10 pont)

14. Egy  $b = 12$  bites, ideálisnak tekinthető AD-átalakítóval szinuszjelet mérünk. A mintavételi frekvencia  $f_s = 100$  kHz és  $N = 100000$  mintát veszünk a jelből. A szinuszjel amplitúdója 1 V. A jel mérése során  $J = 25007$  periódust szeretnénk mintavételezni a fenti adatokkal.

- Mekkorára válasszuk a szinuszjel frekvenciáját?
- Az AD-átalakító bipoláris, a  $\pm 1$  V tartományon végzi az átalakítást. Feltételezve, hogy pontosan 7 periódust mérünk, azaz a szinusz összes fázishelyzete azonos gyakorisággal fordul elő a  $[0, 2\pi]$  intervallumban, melyik kódban lesz a legkevesebb minta, és ez hány mintát fog jelenteni?
- Tegyük fel, hogy a függvénygenerátoron beállított jelfrekvencia, illetve a mintavételi frekvencia bizonytalansága miatt nem sikerült a jelet koherensen mintavételezni. Szeretnénk a jel amplitúdóját az FFT eredményéből ellenőrizni. Legrosszabb esetben mekkora hibát fogunk elkövetni az amplitúdó leolvasásakor? (A megoldás során az FFT eredményében az  $N - J$  frekvenciapontban megjelenő ablak hatását elhanyagolhatjuk).

(10 pont)

15. Egy lecsengő hangú hangszer (pl. gitár) hangjának felharmonikusait vizsgáljuk. A harmonikusok  $\hat{f}_k$  közelítő frekvenciáit ismerjük. A vizsgálat céljából a felvett  $x(n)$  hangjelet egy  $\hat{f}_k$  frekvenciájú komplex exponenciállissal lekeverjük, így a következő jelet kapjuk:

$$x_k(n) = x(n)e^{-j2\pi\frac{\hat{f}_k}{f_s}n},$$

ahol  $f_s$  a mintavételi frekvencia, és  $n$  a minta száma. Lekeverés után az így kapott komplex jelet egy aluláteresztő szűrővel szűrjük, így az  $y_k(n)$  jelet kapjuk.

- Hogyan válasszuk meg az aluláteresztő szűrő törésponti frekvenciáját és meredekségét (fokszámát), ha azt szeretnénk, hogy az adott harmonikust jellemző  $y_k(n)$  komplex jelben a többi felharmonikus ne okozzon hibát? Milyen nemkívánatos hatás léphet fel, ha ebből a szempontból „túlságosan jó” szűrőt választunk?
- A  $y_k(n)$  komplex jelből hogyan tudjuk meghatározni az adott harmonikus  $a_k(n)$  pillanatnyi amplitúdóját és  $f_k(n)$  pillanatnyi frekvenciáját? (Emlékeztetülül:  $\hat{f}_k$  csak közelítő frekvencia.)
- Ha tudjuk, hogy az egyes harmonikusok exponenciálisan csengenek le, hogyan becsülhetjük az időállandójukat az  $y_k(n)$  jelekből? (Olyan eljárásra van szükség, amelyik zajos jelek esetén is lehetővé teszi a becslést.)

(10 pont)