

A szűrő nélküli torzításmérés újabb eredményei

KOVÁCS PÁL
BME Híradástechnikai
Elektronika Intézet

1. Bevezetés

A híradástechnikában a kvázilineáris — lineárisra tervezett, de kissé nemlineárisra sikerült — rendszerek nemlinearitása mértékének meghatározására a legelterjedtebb mérési módszerek a harmonikus és intermodulációs torzításmérések. Mindkét módszer frekvenciatartományban végzett analízisen alapul, szelektív mérést igényel, mely szűrő vagy szűrők segítségével realizálható. Kis torzítások automatizált mérése a mérőberendezésben bonyolult hangolóautomatikák realizálását követeli meg.

A kvázilineáris rendszerek nemlinearitása mértékének meghatározása amplitúdótartományban is elvégezhető a rendszer kimeneti jelének elsőrendű eloszlásfüggvénye az amplitúdóeloszlás vizsgálatával. Ilyen elven alapuló mérési eljárásra tesz javaslatot az [1] irodalom.

Jelen közlemény célja annak bemutatása, hogy lehet a gyakorlatban is jól használható nagy felbontóképességű automatikus torzításmérőt készíteni, mely szűrő nélkül a rendszer kimeneti jelének amplitúdóeloszlás értékeiből származtatja a gyakorlat számára elfogadott k_2 , k_3 és k harmonikus torzítási tényezőket.

2. A mérési módszer elve

A mérési módszer matematikai alapját az amplitúdó eloszlásfüggvények nemlineáris transzformációja képezi [2, 3, 4] irodalom.

Legyen $y=g(x)$ a vizsgált rendszer dinamikakarakterisztikája, amely a $\xi(t)$ bemenő és az $\eta(t)$ kimenő jel pillanatértékei között egyértelmű kapcsolatot létesít. Ha $y=g(x)$ monoton növekvő függvény, akkor:

$$F_{\xi}(x) = F_{\eta}(y) = F_{\eta}[g(x)], \quad 2.1.a$$

illetve:

$$F_{\eta}(y) = F_{\xi}(x) = F_{\xi}[g^{-1}(y)], \quad 2.1.b$$

ahol: $F_{\xi}(x)$ a bemenő jel; $F_{\eta}(y)$ a kimenő jel amplitúdó eloszlásfüggvénye, $g^{-1}(y)$ pedig $g(x)$ inverze.

Ekkor:

$$g(x) = F_{\eta}^{-1}[F_{\xi}(x)], \quad 2.2.a$$

illetve:

$$g^{-1}(y) = F_{\xi}^{-1}[F_{\eta}(y)], \quad 2.2.b$$

azaz a nemlinearitás identifikált. A mérési feladat tehát — amennyiben a bemenő jel amplitúdóeloszlása ismert — (2.2.a) szerint a kimeneti jel eloszlásfüggvénye inverzének, (2.2.b) szerint a kimeneti jel eloszlásfüggvényének mérésére vezethető vissza. Az amplitúdó eloszlásfüggvény mérhető egyszerűbben, így a (2.2.b) egyenlet szerinti identifikálási eljárást alkalmazzuk.

3. Korlátozó feltételek

Vizsgálatainkat a következő — a gyakorlat számára is elfogadható — egyszerűsítő feltételek mellett végezzük.

3.1. Vizsgáló jel

Zérus várható értékű és szimmetrikus eloszlású. ξ momentumai a következő alakba írhatók fel:

$$M_x(\xi^{2n-1}) = 0 \quad n=1, 2, \dots \quad 3.1.a$$

$$M_x(\xi^{2n}) = c_n \sigma_x^{2n} \quad c_1=1 \quad n=1, 2, \dots \quad 3.1.b$$

ahol σ_x a vizsgáló jel effektív értéke.

Vizsgáló jelként szinuszos jelet, vagy Gauss amplitúdóeloszlású sávkorlátozott fehérzajt célszerű alkalmazni.

3.2. Vizsgált rendszer

Memóriamentes és dinamikakarakterisztikája a vizsgált tartományban az:

$$y = a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3 \quad 3.2$$

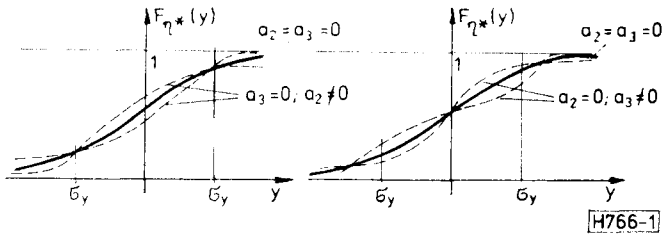
alakú Taylor sorral közelíthető. Lényeges következmény az, hogy a mérés során nem kell a teljes amplitúdó eloszlásfüggvényt felvenni, elegendő annak néhány alkalmasan választott pontját meghatározni.

A későbbi számításoknál szükség lesz a dinamikakarakterisztika inverzének és inverze deriváltjának közelítő értékére, melyeket a következő közelítő összefüggésekkel határozunk meg:

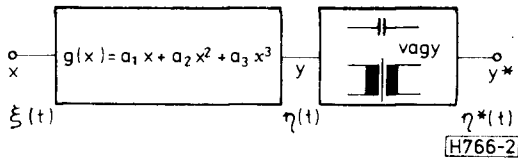
$$g^{-1}(y) \approx \frac{y}{a_1} - \frac{a_2}{a_1^3} y^2, \quad 3.3$$

$$g^{-1}(y) \approx \frac{1}{a_1} - \frac{2a_2}{a_1^3} y. \quad 3.4$$

Az Ifjúsági Konferencián, 1980. XI. 17-én elhangzott előadás alapján.



1. ábra. A vizsgált rendszer vázlatja



2. ábra. Az amplitúdó eloszlásfüggvények „torzulása”

3.3 Mérési elrendezés

Egyenáramú átvitellem nem rendelkezik, melyről a mérőműszer bemenetén levő kondenzátor vagy transzformátor gondoskodik. 1. ábra.

A ξ vizsgáló és az egyenszintleválasztás utáni η^* jel pillanatértékeit összerendelő egyenlet:

$$\eta^* = g(\xi) - M_y[g(\xi)] = g(\xi) - a_2 \sigma_x^2. \quad (3.5)$$

Azaz:

$$\eta^* = a_1 \xi + a_2 [\xi^2 - \sigma_x^2] + a_3 \xi^3. \quad (3.6)$$

4. A mérési pontok megválasztása

A kimeneti jel amplitúdó eloszlásfüggvénye vizsgálati pontjainak megválasztására a [2] és [3] irodalom több módszert ismertet. A legkevesebb mérőáramkört igényli az a módszer, amely az η^* jel $y^* = 0$ és $y^* = a_y$ pontokban mért amplitúdóeloszlás értékeiből származtatja a k_2 és k_3 harmonikus torzítási tényezőket. A mérési pontok ilyen választásához azok a mérések vezetettek, melyeket egy az $y = a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3$ dinamika karakterisztikát megvalósító „torzító modellel” és egy amplitúdóeloszlás rajzolóval végeztünk. A vizsgáló jel Gauss amplitúdóeloszlású fehérzaj volt. A mérési eredményeket a 2. ábra szemlélteti. A mérési eredményekből úgy tűnt, hogy $F_{\eta^*}(\sigma_y)$ értékét az a_2 együttható — a másodrendű torzítás — nem befolyásolja, $F_{\eta^*}(0)$ értékét pedig az a_3 együttható — a harmadrendű torzítás — nem befolyásolja.

5. Az $F_{\eta^*}(0)$; $F_{\eta^*}(\sigma_y)$ amplitúdóeloszlás értékek és a harmonikus torzítási tényezők kapcsolata

Az a_1 ; a_2 ; a_3 dinamika karakterisztika együtthatók és a harmonikus torzítási tényezők kapcsolatát — kis torzítások esetén — a következő közismert összefüggések írják le:

$$k_2 = \left| \frac{a_2}{\sqrt{2}a_1} \right| a_x, \quad (5.1)$$

$$k_3 = \left| \frac{a_3}{2a_1} \right| \sigma_x^2, \quad (5.2)$$

ahol a_x a vizsgáló szinuszos jel effektív értéke. Amennyiben meghatározzuk az $\frac{a_2}{a_1} a_x$ és $\frac{a_3}{a_1} a_x^2$ mennyiségeket, és $F_{\eta^*}(0)$, valamint $F_{\eta^*}(\sigma_y)$ kapcsolatát, megkapjuk a harmonikus torzítási tényezőket. A számításokban szereplő függvényeket Taylor soraik első két tagjával közelítjük. A közelítés elegendő voltát mérési eredmények támasztják alá.

5.1. $\frac{a_2}{a_1} a_x$ és $F_{\eta^*}(0)$ kapcsolata

Fejtsük sorba a (2.1.a) egyenletet az $x=0$ pontban.

$$F_{\xi}(0) = F_{\eta^*}(-\sigma_x \sigma_x^2) \approx F_{\eta^*}(0) - F'_{\eta^*}(0) a_2 \sigma_x^2. \quad (5.3)$$

$F_{\eta^*}(0)$ értékét a (2.1.b) egyenlet deriváltjának sorfejtéséből kapjuk, felhasználva a (3.3), (3.4) összefüggéseket:

$$F'_{\eta^*}(0) \approx \frac{1}{a_1} F'_{\xi}(0). \quad (5.4)$$

(5.3) és (5.4) összevetéséből:

$$\frac{a_2}{a_1} \sigma_x \approx \frac{F_{\eta^*}(0) - F_{\xi}(0)}{a_x F'_{\xi}(0)}. \quad (5.5)$$

A másodrendű harmonikus torzítási tényező:

$$k_2 \approx \left| \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{F_{\eta^*}(0) - F_{\xi}(0)}{\sigma_x F'_{\xi}(0)} \right| \quad (5.6)$$

$F_{\xi}(0)$ és $\sigma_x F'_{\xi}(0)$ ismert eloszlású vizsgáló jel esetén konstansok. A $k_2 = [F_{\eta^*}(0)]$ függvény tabellázható, és a műszerben ROM-ban tárolható.

5.2. $\frac{a_3}{a_1} \sigma_x^2$ és $F_{\eta^*}(a_y)$ kapcsolata

Fejtsük sorba a (2.1.a) egyenletet az $x = a_x$ pontban.

$$F_{\xi}(\sigma_x) = F_{\eta^*}(a_1 a_x + a_3 \sigma_x^3) \approx F_{\eta^*}(a_1 \sigma_x) + F'_{\eta^*}(a_1 \sigma_x) a_3 \sigma_x^3. \quad (5.7)$$

Mérési eredményként $F_{\eta^*}(\sigma_y)$ áll rendelkezésre. Az $F_{\eta^*}(\sigma_y)$ és $F_{\eta^*}(a_1 \sigma_x)$ közötti összefüggés meghatározásához meg kell határozni a_y és a_x kapcsolatát. Az

$$a_y = \sqrt{M(\eta^2) - M^2(\eta)}$$

összefüggés felhasználásával a levezetés részletezése nélkül:

$$a_y \approx a_1 a_x + \frac{(c_2 - 1)a_2^2}{2a_1} a_x^3 + c_2 a_3 a_x^3 = a_1 a_x + \Delta, \quad (5.8)$$

ahol c_2 a (3.1.b) egyenlettel definiált konstans. Ezek után írható:

$$F_{\eta^*}(a_1 \sigma_x) \approx F_{\eta^*}(\sigma_y) - F'_{\eta^*}(a_1 \sigma_x) \cdot \Delta. \quad (5.9)$$

$F'_{\eta^*}(a_1 \sigma_x)$ értékét a (2.1.b) egyenlet deriváltjának

sorfejtéséből kapjuk, felhasználva a (3.3), (3.4) összefüggéseket:

$$F_{\eta^*}^{\prime}(a_1 \sigma_x) \approx \frac{1}{a_1} \left[F_{\xi}^{\prime}(\sigma_x) - F_{\xi}^{\prime\prime}(\sigma_x) \frac{a_2}{a_1} \sigma_x^2 \right] \left[1 - \frac{2a_2}{a_1} \sigma_x \right]. \quad 5.10$$

Az (5.2), (5.7), (5.9) és (5.10) egyenletek összevetéséből a harmadrendű harmonikus torzítási tényező:

$$k_3 \approx \frac{1}{2} \frac{F_{\xi}(\sigma_x) - F_{\eta^*}(\sigma_x)}{[1 - c_2] \left[1 - \frac{2a_2}{a_1} \sigma_x \right] \left[\sigma_x F_{\xi}^{\prime}(\sigma_x) - \sigma_x^2 F_{\xi}^{\prime\prime}(\sigma_x) \frac{a_2}{a_1} \sigma_x \right]} - \frac{1}{2} \left(\frac{a_2}{a_1} \sigma_x \right)^2. \quad 5.11$$

Ismert eloszlású vizsgálo jel esetén $F_{\xi}(\sigma_x)$, $\sigma_x F_{\xi}^{\prime}(\sigma_x)$ és $\sigma_x^2 F_{\xi}^{\prime\prime}(\sigma_x)$ konstansok. $\frac{a_2}{a_1} \sigma_x$ értéke az $F_{\eta^*}(0)$ mérési eredményből számítható az (5.5) összefüggés segítségével. Sajnos k_3 a mért valószínűségeknek nem egyváltozós függvénye, tabellázása és ROM-ban való tárolása nagy memóriakapacitást igényel, a műszerbe aritmetikai elem beépítését teszi indokolttá.

6. Felbontóképesség, a méréshez szükséges idő

A $k_2 = f[F_{\eta^*}(0)]$ és $k_3 = f[F_{\eta^*}(0); F_{\eta^*}(\sigma_y)]$ összefüggések ismeretében meghatározhatjuk, hogy meghatározott k_2 és k_3 értékek kiméréséhez milyen felbontóképességgel kell $F_{\eta^*}(0)$ és $F_{\eta^*}(\sigma_y)$ értékét mérni, és ehhez mekkora mérési idő szükséges.

Számszerű összefüggésekhez jutunk, ha az (5.6) és (5.11) összefüggésekbe az adott vizsgálo jelnek megfelelő konstansokat írjuk be. A számításokat szinuszos és Gauss amplitúdóeloszlású vizsgálojelre végezzük el.

6.1. Szinuszos vizsgálojel

Szinuszos vizsgálojel esetén:

$$F_{\xi}(0) = 0,5; \quad \sigma_x F_{\xi}^{\prime}(0) = \frac{1}{\pi\sqrt{2}}; \quad F_{\xi}(\sigma_x) = 0,75,$$

$$\sigma_x F_{\xi}(\sigma_x) = \sigma_x^2 F_{\xi}^{\prime\prime}(\sigma_x) = \frac{1}{\pi}; \quad c_2 = \frac{3}{2},$$

$$k_2 \approx |\pi[F_{\eta^*}(0) - 0,5]| = \pi |AP_2|. \quad 6.1$$

$$k_3 \approx \left| \frac{\pi[F_{\eta^*}(\sigma_y) - 0,75]}{1 - 3\pi\sqrt{2}AP_2 + 4\pi^2AP_2^2} - \frac{\pi}{\sqrt{2}} AP_2^2 \right|. \quad 6.2$$

A felbontóképességre vonatkozó összefüggések:

$$\Delta[F_{\eta^*}(0)] \approx \frac{1}{\pi} \Delta k_2; \quad \Delta[F_{\eta^*}(\sigma_y)] \approx \frac{1}{\pi} \Delta k_3.$$

0,01% felbontóképességű torzításméréshez $F_{\eta^*}(0)$ és $F_{\eta^*}(\sigma_y)$ értékét $\sim 3,2 \cdot 10^{-5}$ felbontóképességgel kell mérni. Az $F_{\eta^*}(0)$ és $F_{\eta^*}(\sigma_y)$ valószínűségek meghatá-

rozását az $y^* = 0$ és $y^* = \sigma_y$ értékekhez tartozó alacsony időhányadok mérésével végezzük. A mérési idő a vizsgálo jel periódusidejének egész számú többszöröse. $\Delta t = 1 \mu s$ felbontóképességű időméréssel a szükséges felbontóképességet 30 Hz-es vizsgálojel frekvenciáig egyetlen periódus mérésével biztosítani lehet. 30 Hz felett átlagmérést alkalmazunk a szükséges felbontóképesség biztosítására.

6.2. Gauss amplitúdóeloszlású vizsgálo jel

Gauss amplitúdóeloszlású vizsgálo jel esetén:

$$F_{\xi}(0) = 0,5; \quad \sigma_x F_{\xi}^{\prime}(0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}; \quad F_{\xi}(\sigma_x) = 0,8413;$$

$$\sigma_x F_{\xi}^{\prime}(\sigma_x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi e}}; \quad \sigma_x^2 F_{\xi}^{\prime\prime}(\sigma_x) = -\frac{1}{\sqrt{2\pi e}}; \quad c_2 = 3.$$

E módszer alkalmazásánál lényeges gyakorlati szempont az, hogy a különböző vizsgálojelekkel végzett torzításméréseknél a dinamikakarakterisztika ugyanazon szakaszt tapogassuk le, azaz a különböző vizsgálojelek azonos csúcserőtelkének legyenek. A Gauss eloszlású jelben az effektív érték háromszorosánál nagyobb pillanatértékek már igen kis valószínűséggel fordulnak elő. Gauss amplitúdóeloszlású vizsgálo jel alkalmazása esetén ezért 6 dB-lel kisebb szintű jellel kell a mérést végezni, mint szinuszos jel esetén!

A konstansokat az (5.6.) és (5.11.) összefüggésekbe helyettesítve – és a szinuszhoz képest 6 dB-lel kisebb mérőszintet figyelembe véve – kapjuk:

$$k_2 \approx |2\sqrt{\pi}[F_{\eta^*}(0) - 0,5]| = 2\sqrt{\pi} |AP_2| \quad 6.3$$

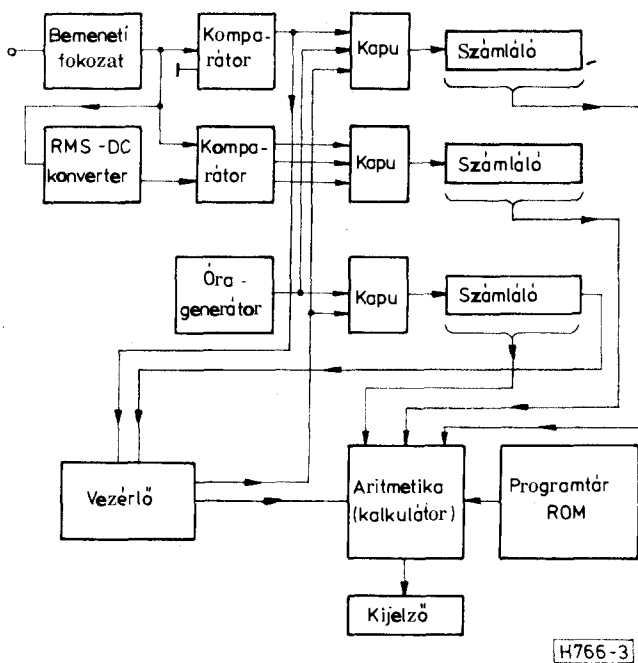
$$k_3 \approx \left| \frac{\sqrt{2\pi e}[F_{\eta^*}(\sigma_y) - 0,8413]}{1 - \sqrt{2\pi} AP_2 - 4\pi AP_2^2} - \pi AP_2^2 \right|. \quad 6.4$$

0,1% felbontóképességű torzításméréshez $F_{\eta^*}(0)$ értékét $\sim 2,8 \cdot 10^{-4}$, $F_{\eta^*}(\sigma_y)$ értékét $\sim 2,4 \cdot 10^{-4}$ felbontóképességgel kell mérni. Az $F_{\eta^*}(0)$ és $F_{\eta^*}(\sigma_y)$ valószínűségek meghatározását a kimeneti jel periodikus mintavételezésével végezzük. Legyen a független minták száma N , és n_0 azon minták száma, melyek az $y^* = 0$, és n_{σ_y} azon minták száma, amelyek az $y^* = \sigma_y$ érték alá esnek. Ekkor:

$$F_{\eta^*}(0) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{n_0}{N} \quad \text{és} \quad F_{\eta^*}(\sigma_y) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{n_{\sigma_y}}{N}.$$

Véges N mintaszámig végezve a mérést, a mérés relatív szórása binomiális eloszlásból számítható. $F_{\eta^*}(0)$ mérésekor:

$$\frac{1}{\sqrt{N}} \sqrt{\frac{1 - F_{\eta^*}(0)}{F_{\eta^*}(0)}}$$



3. ábra. A mérőműszer blokkvázlata

a kívánt felbontóképességhez szükséges mintaszám becslése:

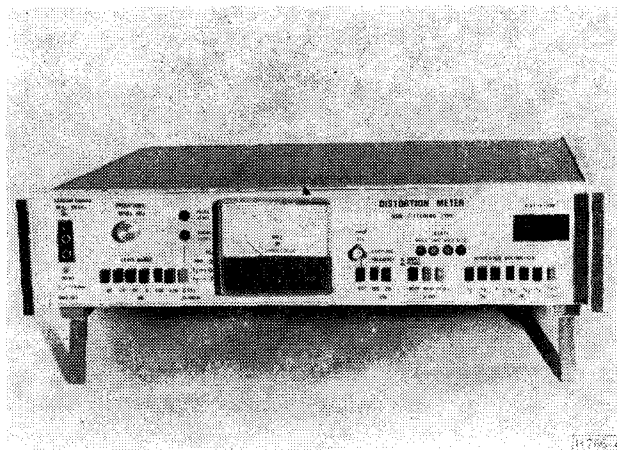
$$\frac{3}{\sqrt{N}} < 2,8 \cdot 10^{-4} \rightarrow N \sim 10^8.$$

Az ehhez tartozó mérési idő 20 kHz sávszélességű zaj esetén 10^2 s nagyságrendű.

7. A mérőműszer blokkvázlata, megvalósítás

A mérőműszer blokkvázlatát a 3. ábra mutatja. A struktúra egyaránt alkalmas szinuszos vagy Gauss eloszlású vizsgálójellel való mérésre.

A bemeneti fokozat feladata a kellő érzékenység, bemenőimpedancia biztosítása, és a bemeneti szinttartományban egy szűk 1 dB szinttartományra való komprimálása. A komparátorok döntenek el, hogy a jel pillanatértéke a vizsgálószint alá esik-e. A vizsgálószintet az RMS-DC konverter állítja elő. $F_{\eta^*}(\sigma_y)$ és



4. ábra. A mérőműszer fényképe

$F_{\eta^*}(\sigma_y)$ mérőszámait a számlálóknál generáljuk. A mérési folyamat végén a számlálóknál tartalmát az aritmetikai áramkörbe olvassuk be, mely a programtárba beégetett összefüggéseknek megfelelően kiszámítja a k_2 , k_3 harmonikus torzítási tényezőket. A mérési eredmények számjegyes kijelzőn jelennek meg.

A 4. ábrán a Posta Kísérleti Intézet megbízásából készített műszer képe látható. A műszer Gauss amplitúdóeloszlású vizsgálójellel való torzításmérésre alkalmas 20 Hz–20 kHz sávszélességben, 0,1% felbontással. Jelenleg az Elektronika Átviteltechnika Szövetkezet megbízásából a szinuszos vizsgálójellel működő változat fejlesztése folyik.

I R O D A L O M

- [1] Korda Tibor: „Új mérési módszerek kvázilineáris rendszerek nemlinearitásának vizsgálatára sztochasztikus mérőjel segítségével.” Híradástechnika, XXVII./2. 43–47. old.
- [2] Gordos Géza, Korda Tibor, Kovács Pál: „Szűrő nélküli automatikus torzításmérő” XII. Országos Méréstechnikai Tudományos Konferencia. 1980. Előadás.
- [3] Gordos Géza, Korda Tibor, Kovács Pál: „Szűrő nélküli torzításmérő” Szabadalom. Bej.: 1980.
- [4] G. Gordos: „Assessment of the Quality of Channels Involving Nonlinearities by Measurements Based on the Theory of Random Processes”, Konf. Statistische Nachrichtentheorie, Schnett, D. D. R., 1980.

A Helyközi Távközlési Igazgatóság az alakuló Átviteltechnikai Tervező Iroda irodavezetői munkakörének betöltésére pályázatot hirdet. Feltételünk: műszaki egyetem, vagy főiskolai végzettség, legalább ötéves szakmai gyakorlat (tervezői illetve postai gyakorlat előnyben) Érdeklődés: 330-761-es telefonon Mudra István. Jelentkezés: személyesen vagy írásban a Személyzeti és Oktatási Osztályon, Bp. VIII., Horváth Mihály tér 17–19. Jelentkezési határidő: a megjelenéstől számított 30 napon belül.

A Helyközi Távközlési Igazgatóság a most alakuló Átviteltechnikai Tervező Iroda létszámának feltöltése érdekében az alábbi munkakörökbe keres munkavállalókat: átviteltechnikai tervező, műszaki rajzoló, gépiró, általános előadó (szerződésalkotó). Részletes felvilágosítás: Bp. VIII., Horváth Mihály tér 17–19. új ép. III. em. 302. Telefon: 342-900/345 mellék, vagy 330-761 számon.