

# Ipari folyamatirányító rendszerek – 8.

## Folyamatirányító rendszerek felépítése – 3.

Dr. Csubák Tibor, Megyeri József, Barta Gergely – Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

A folyamatirányító rendszerek felépítését tárgyaló cikksorozat előző része az analóg relés méréspontváltók ismertetésével fejeződött be, amelyet most a cikk elején a félvezetős változat tárgyalása követ. A relés és a félvezetős típusok összehasonlítása után a leggyakrabban használt analóg–digitális átalakítók működését és alkalmazási lehetőségeit foglaljuk össze.

### Félvezetős analóg méréspontváltók

A félvezetős méréspontváltóban (solid-state multiplexer) MOSFET-kapcsolókat használnak. Ezek főbb villamos jellemzői a következők:

- A zárt kapcsoló átmeneti ellenállása:  $20 \Omega$ ,
- A nyitott kapcsoló ellenállása:  $10^9 \Omega$ ,
- A kapcsolóelektrodák és a vezérlőelektroda közötti szigetelési ellenállás:  $10^{12} \Omega$ ,
- Kapcsolási idő:  $1 \mu\text{s}$ ,
- Élettartam: végtelen,
- Rázásállóság: jó.

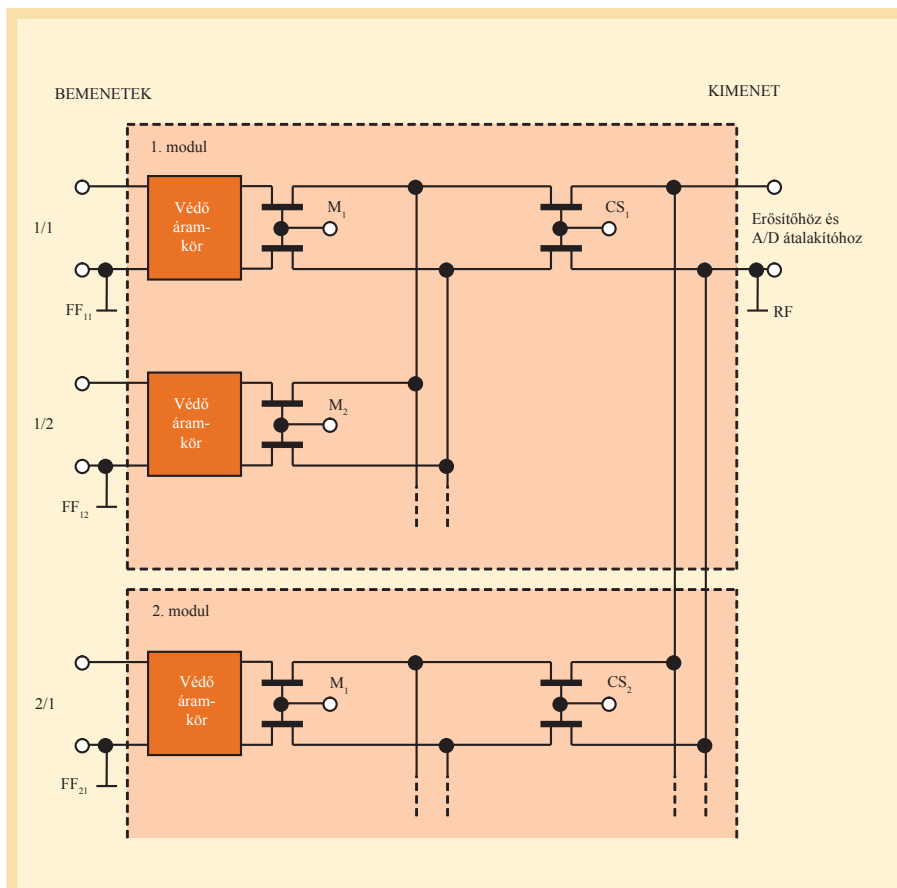
Az 1. ábrán a félvezetős méréspontváltó egyszerűsített rajza látható (Az M méréspontváltót, a CS csoportkapcsolót jelöl). A kialakítás a relés méréspontváltóhoz hasonló, jelentős különbség azonban, hogy a félvezető kapcsolók a felhasználói földpontokat sem egymástól, sem pedig a rendszerföldtől galvanikusan nem választják el. Emiatt a félvezetős méréspontváltó földfüggetlen jeladók, vagy pedig – ha a jeladók földeltek – közel azonos földpotenciálú jeladók esetén használható. Földelt jeladók esetén az erősítőnek és az A/D-átalakítóknak földfüggetlen bemenetűnek kell lennie, és vagy az erősítőben, vagy az A/D-átalakítóban meg kell oldani a galvanikus leválasztást.

**A relés és félvezetős méréspontváltókat az alkalmazhatóság szempontjából összehasonlítva látható, hogy**

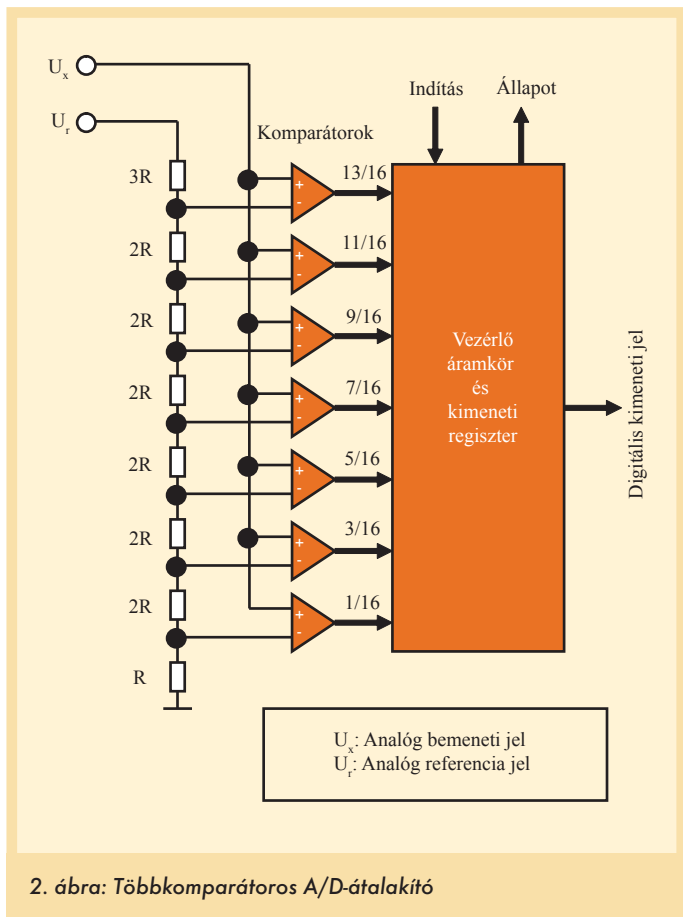
- a relés méréspontváltó sebessége (200 bemenet/s) kisebb, mint a félvezetősé (20 000 bemenet/s),
- a relés méréspontváltó élettartama rövidebb ( $10^7 \dots 10^9$  kapcsolás), mint a félvezetősé (végtelen),
- a félvezetős méréspontváltó azonban nem teszi lehetővé a galvanikus leválasztást, míg a reléssel ez megvalósítható.

A galvanikus leválasztást megvalósító relés, repülőkondenzátoros méréspontváltó alkalmazása esetén a megengedett azonos fázisú zavarjel nagysága több száz V nagyságú egyenfeszültség (vagy csúcstól-csúcsig mért váltakozó feszültség), míg félvezetős méréspontváltó esetén – amely galvanikusan nem választja el egymástól a jeladó és a jelvevő áramkörét – legfeljebb  $7 \dots 10 \text{ V}$ . A félvezetős méréspontváltók túlfeszültségre és túláramra érzékenyek, ezért a bemeneteknél védőáramkör kialakítására van szükség.

Mivel a méréspontváltó típusa az erősítő és az A/D-átalakító bemeneti áramkörét (földelt, földfüggetlen), valamint a galvanikus leválasztás megvalósításának helyét is megszabja, a megfelelő méréspontváltó típusa a kapcsolandó analóg jel nagyságá-



1. ábra Félvezetős méréspontváltó



nak és a megkívánt kapcsolási sebességnek ismeretében a zaj és a földelési viszonyok figyelembevételével választható ki.

**Analóg-digitális átalakítók**

Az analóg-digitális átalakító a bemenetére kapcsolt analóg jelet kódolt digitális jellé alakítja át. Az A/D-átalakítók szokásos bemeneti jeltartományai: 0...5 V, 0...10 V, ±2 V, ±5 V, ±10 V. Kimeneti felbontóképességük a működési elvtől és az alkalmazott technológiától függően 8...24 bit. A különböző A/D-átalakítók működési elve lényegesen eltér egymástól, a következőkben a leggyakrabban alkalmazott típusok működését tekintjük át.

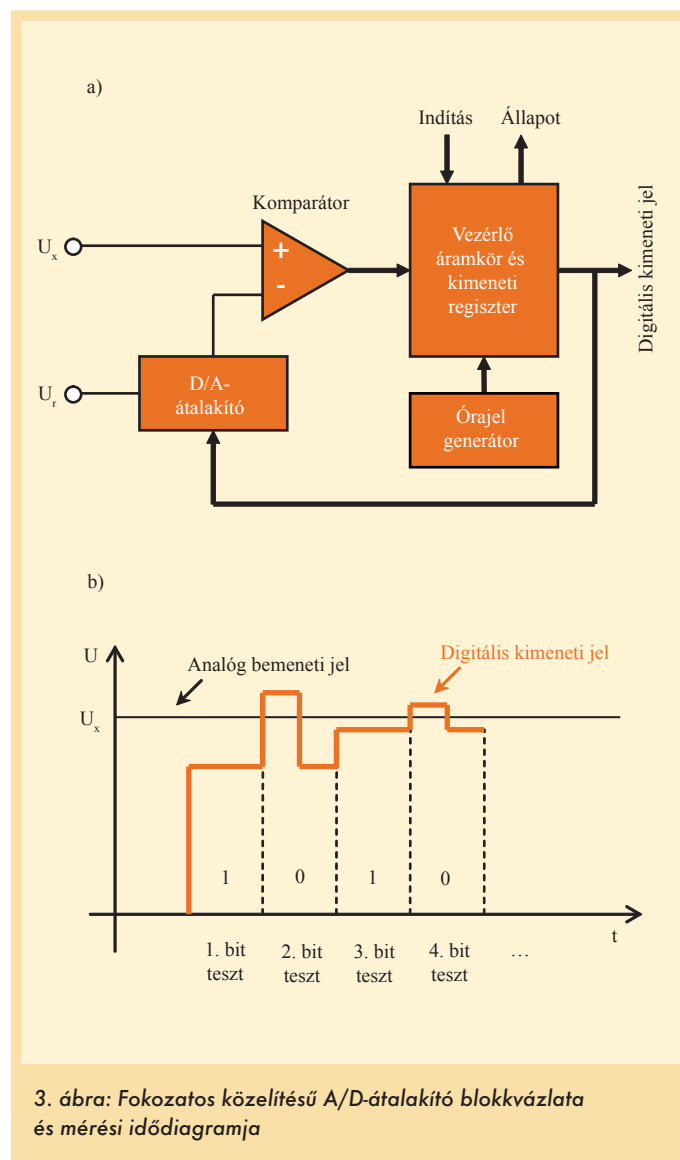
**Többkomparátoros (flash) A/D-átalakító**

A mérendő  $U_x$  jelet párhuzamosan több komparátorral, különböző értékű referenciafeszültségekkel hasonlítják össze (2. ábra). A komparátorok a kimeneteiken akkor adnak jelet, ha a pozitív bemenetre kapcsolt  $U_x$  feszültség a negatív bemenetre kapcsolt referenciafeszültségnél nagyobb vagy azzal egyenlő. Az átalakító előnye, hogy az átalakítási idő igen kicsi, a mérendő feszültség nagyságától és a felbontóképességtől függetlenül néhány  $\mu s$ , hiszen a sebességet a kapcsolók kapcsolási sebessége, valamint a komparátorok és a kapuáramkörök sebessége szabja csak meg. Az átalakító hátránya, hogy a felbontóképesség növelésével jelentősen nő a felhasznált elemek száma: egy  $n$  bites átalakítóhoz  $(2^n - 1)$  db komparátor alkalmazása szükséges. Az átalakító a bemeneti analóg jel pillanatértékét méri, ezért a bemeneti hasznos jellel együtt megjelenő zavarjelek mérési hibát okoznak.

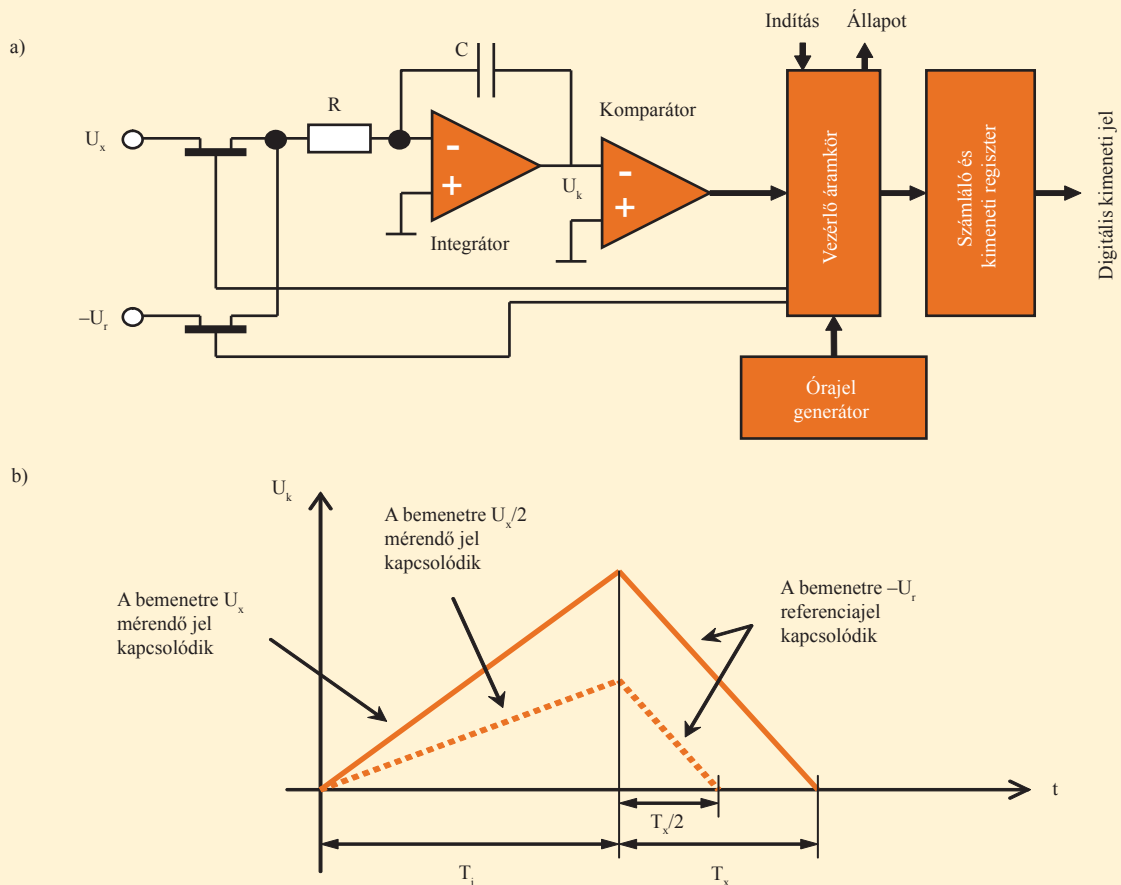
**Fokozatos közelítésű (successive approximation) A/D-átalakító**

Az  $U_x$  mérendő, analóg, bemeneti jelet egy digitális-analóg átalakító kimeneti jelével hasonlítják össze. A D/A-átalakítót az A/D-átalakító digitális kimeneti jele vezérli. Az átalakító indításakor

a kimeneti regiszter törlődik, az átalakító állapotjele logikai „0” értékű lesz, majd a mérendő jelet először a legnagyobb súlyú bitnek (MSB) megfelelő pontos feszültséggel összehasonlítják. Ha  $U_x$  nagyobb, mint az összehasonlító feszültség, akkor a kimeneti regiszterben az MSB bit helyére logikai „1” érték íródik be, és a következő bináris súlyú feszültséggel megnövelt, összehasonlító feszültséggel történik az összehasonlítás. Ha  $U_x$  kisebb, mint az összehasonlító feszültség, akkor az adott bit helyére logikai „0” érték kerül. Az előzőleg bekapcsolt összehasonlító feszültségkomponenst a vezérlő áramkör lekapcsolja, és helyette a következő bináris súlyú feszültséggel növeli meg az összehasonlító feszültséget. A művelet a legkisebb súlyú (LSB) bittel történő összehasonlításig folytatódik, majd ezután az állapotjel logikai „1” értékre vált, jelezve, hogy az A/D-átalakítás befejeződött. A 3. ábra egy 4 bites átalakító blokkvázlatát és mérési idődiagramját mutatja.



A fokozatos közelítésű A/D-átalakító gyors működésű, az átalakítási idő a mérendő feszültség nagyságától független. Szokásos értéke: 2  $\mu s$ /bit, vagyis egy 10 bites átalakító átalakítási ideje 20  $\mu s$ . Az átalakító működési elvéből következik, hogy a mérés ideje alatt az  $U_x$  feszültségnek állandó értékűnek kell lennie. Az átalakító tehát zavarérzékeny, ezért a mérendő feszültséget először szűrni kell. Ha a mérendő jel gyorsan változik, a pillanatérték mérése érdekében az A/D-átalakító bemenetén



4. ábra: Kettős integráló A/D-átalakító

mintavevő és tartó áramkört kell alkalmazni. Az átalakító pontosságát, linearitását a D/A-átalakító felbontása, az  $U_r$  referenciafeszültség-forrás és a komparátor pontossága határozza meg.

**Kettős integráló (dual-slope) A/D-átalakító**

A kettős integráló A/D-átalakítóban (4. ábra) az  $U_x$  mérendő feszültséget egy integrátor bemenetére vezetik, és rögzített  $T_i$  ideig – a számlálóra vezetett, meghatározott számú órajelimpulzusig – integrálják. Ezután az  $U_x$  feszültséget az integrátorról lekapcsolják, és helyére az ellenkező előjelű  $U_r$  referenciafeszültséget kapcsolják. A kapcsolás pillanatában az integrátor kondenzátorán felhalmozott töltés arányos a  $T_i$  idő alatt integrált bemeneti jel  $U_{xa}$  átlagértékével. A referenciafeszültség integrátorra való rákapcsolásakor a számláló ismét zérus értékről számlálja az órajelimpulzusokat. Ha az integrátor kimeneti feszültsége az  $U_k$  zérus értéket eléri, az impulzusszámlálást a vezérlőáramkör leállítja, s az átalakítás befejeződött. Az integrátor kisütésének  $T_x$  időtartama arányos a bemeneti jel  $U_{xa}$  átlagértékével. Az integrátor töltése és kisütése után az  $U_k$  kimeneti feszültség zérus:

$$U_k = 0 = \frac{1}{RC} \int_0^{T_i} U_x dt - \frac{1}{RC} U_r T_x.$$

A kifejezés első tagját a bemeneti jel átlagértékével kifejezve kapjuk, hogy:

$$0 = \frac{1}{RC} U_{xa} T_i - \frac{1}{RC} U_r T_x.$$

Az összefüggésből a bemeneti jel átlagértéke:

$$U_{xa} = U_r \frac{T_x}{T_i}.$$

Ha az órajel-frekvencia  $f_o$  és a számláló tartalma az  $U_x$  feszültség integrálása végén  $N_i$ , az átalakítás végén pedig  $N_x$ , felírható, hogy

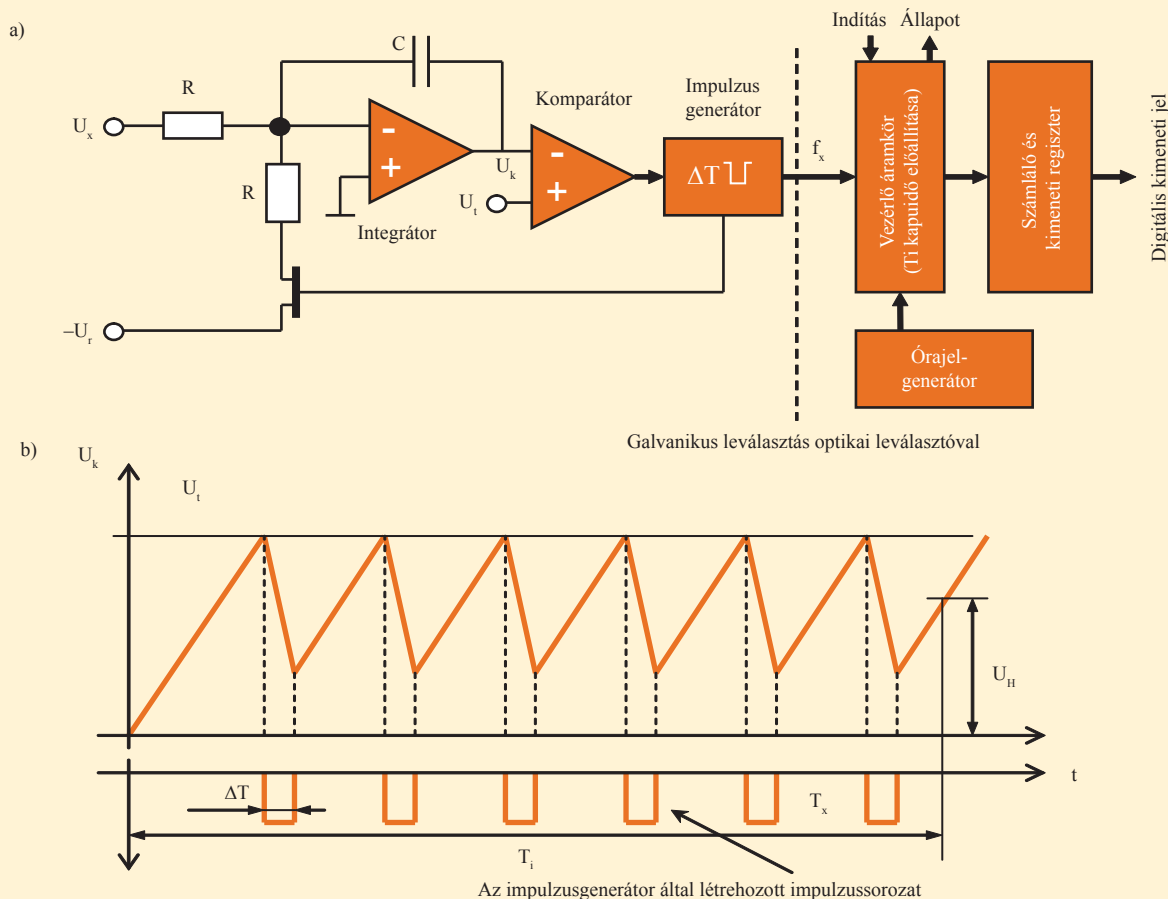
$$T_x = \frac{N_x}{f_o}, T_i = \frac{N_i}{f_o} \Rightarrow \frac{T_x}{T_i} = \frac{N_x}{N_i},$$

tehát

$$U_{xa} = U_r \frac{N_x}{N_i}.$$

Ha  $U_r$  és  $N_i$  állandó, a bemeneti jel átlagértéke az átalakítás végén kiolvasható számláló tartalmával ( $N_x$ ) arányos.

Az átalakítás pontossága nem függ az integrátor  $R$  és  $C$  eleme, ill. az órajel-frekvencia értékétől, mivel mind a töltési, mind a kisütési üzemmódban ugyanazon értékekkel lehet számolni. A kettős integráló A/D-átalakító működési elvéből következik, hogy az  $f=1/T_i$  frekvenciájú zavarjeleket kiszűri. Ha az integrálási időt  $T_i=20$  ms értékre választjuk, akkor kiszűrhető a bemeneti hasznos jelre szuperonálódó 50 Hz frekvenciájú hálózati



5. ábra: Feszültség-frekvencia-átalakítás A/D-átalakító

zavarjel. Az átalakító átalakítási idejét a rögzített integrálási idő és a mérendő feszültség nagyságától függő kisütési idő összege adja meg. Az 50 Hz-es zavarjel szűrésére beállított átalakító esetén a mérési tartománynak megfelelő maximális bemeneti jel mérésekor az átalakítási idő 40 ms. Az átalakító tehát lassú, azonban ez a sebesség az ipari igényeket nagyon gyakran kielégíti. A jó zajelnyomási tulajdonság miatt a kettős integráló A/D-átalakítót az iparban elterjedten alkalmazzák.

**Feszültség-frekvencia-átalakítás A/D-átalakító**

Az eszköz egy feszültség-frekvencia-átalakítóból és egy kapuzott számlálóból áll (5. ábra). A feszültség-frekvencia-átalakító bemenetén egy integrátor található, amely az analóg bemeneti jelet mindaddig integrálja, amíg az integrált jel az  $U_i$  komparálási feszültséget el nem éri. Ekkor az impulzusgenerátor adott  $\Delta T$  szélességű és  $-U_r$  amplitúdójú impulzust kapcsolja az integrátor összegző bemenetére. Az impulzus az integrátort részben kisüti. Az integrátor az impulzus megszűnése után ismét csak a bemeneti jelet integrálja mindaddig, amíg az integrált jel a komparálási feszültséget el nem éri. A fenti folyamat ismétlődik, ezzel az impulzusgenerátor kimenetén mérhető jel  $f_x$  frekvenciája az analóg bemeneti feszültség nagyságával lesz arányos. Az  $f_x$  frekvenciát megmérve a kapuzott számláló  $N_x$  tartalma az analóg bemeneti jel  $U_{xa}$  átlagértékével lesz arányos. Az átlagolás idejét a  $T_i$  kapuidő szabja meg. A fentiek alapján az alábbi összefüggés írható fel:

$$\frac{1}{RC} \int_0^{T_i} U_x dt - \frac{1}{RC} N_x \Delta T \cdot U_r = U_H,$$

ahol  $U_H$  az 5. b ábrán bejelölt hibafeszültség. A bemeneti jel átlagértékét beírva és integrálva

$$\frac{U_{xa}}{RC} T_i - \frac{1}{RC} N_x \Delta T \cdot U_r = U_H,$$

ebből az átlagérték:

$$U_{xa} = \frac{N_x}{T_i} \Delta T \cdot U_r + \frac{U_H RC}{T_i}.$$

Ha az  $RC$  szorzat kicsi a  $T_i$  időhöz képest, akkor a fenti kifejezés második tagja elhanyagolható, vagyis

$$U_{xa} \approx N_x \frac{\Delta T}{T_i} U_r.$$

Ha a  $\Delta T/T_i$  hányados állandó, az átalakító kimeneti számlálójának tartalma ( $N_x$ ) valóban arányos az  $U_{xa}$  feszültséggel. Ha a számláló kapuidejét  $T_i=20$  ms értékre választjuk, az átalakító szűri az 50 Hz-es zavarjelet. A feszültség-frekvencia-átalakítás A/D valamivel gyorsabb, mint a kettős integráló átalakító, a zajelnyomási tulajdonsága viszont ugyanolyan jó, ezért ipari perifériákban gyakran alkalmazzák.