

# Mérési algoritmus ellenállás-létrahálózatok mérésére

PIRET ENDRE  
ORION

## A feladat

A digitális-analóg ( $D/A$ ) konverterek egy fajtája a konvertáláshoz ellenállás-létrahálózatot használ (1. sz. ábra). Ez a hálózat többnyire vastagfilm-technikával készül hazánkban is. A  $D/A$  átalakítás pontossága egyaránt függ a hálózat pontosságától és az elektronika többi részének (kapcsolók, műveleti erősítő) működésétől.  $D/A$  konverterek gyártásánál célszerű a létrahálózatokat még beépítés előtt ellenőrizni. Az ellenőrzés hagyományos módja az, hogy a vizsgálandó létrahálózatot egy már felépített  $D/A$  konverter létrahálózatának helyébe tesszük, és vizsgáljuk az így létrejött konverter pontosságát. Ez az eljárás hosszadalmas, pontos digitális voltmérőt ( $A/D$  konvertert) és numerikus számítást igényel. A mérést szakképzetlen személy nehezen végzi el.

A cél egy olyan mérési eljárás (jelen esetben inkább mérési algoritmus) kidolgozása, és ennek birtokában egy olyan mérőberendezés létrehozása volt, mely jó—nem jó alakban kiértékelve közvetlen eredményt ad.

## A mérési algoritmus

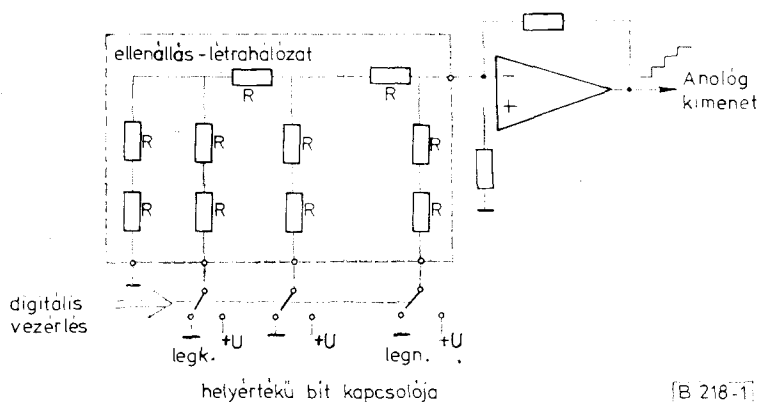
Egy, a vizsgálandó ellenállás-létrahálózattal felépített digitál-analóg átalakító vázlatos kapcsolása látható az 1. ábrán. A valóságban a digitek kapcsolását elektronikus eszközök végzik. A működésből következik, hogy a létrahálózatot alkotó ellenállások abszolút értéke a pontosság szempontjából közömbös, a lényeges az, hogy értékük egymáshoz képest (vagyis az egyes ellenállások aránya) megfelelő legyen.

A méréshez tekintsük csak a létrahálózatot magát és a kapcsolókat. Először vizsgáljuk azt az esetet, amikor a hálózat a legnagyobb helyértékű bitjét „be” állásba, a többi bitjét „ki” állásba kapcsoljuk. A 2a. ábrán ezt a helyzetet tüntettük fel, azzal az egyszerűsítéssel, hogy csak a két legkisebb helyértékű és a legnagyobb helyértékű bitet rajzoltuk ki. A hálózat hossza egyébként tetszőleges lehet. Függőleges szaggatott osztásvonalakkal a hálózatot gondolatban részekre bontottuk. Minden osztásvonal mellett feltüntettük, hogy az osztásvonaltól balra lévő hálózat-rész mekkora ellenállást képvisel a „0” potenciálú pont felé, névleges  $R$  ellenállásokat feltételezve. Relátható, hogy a 2a. ábra szerint kapcsolt ellenálláshálózat kimenetén a bemenő  $U$  feszültség fele jelenik meg.

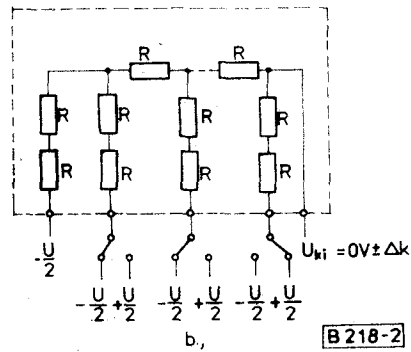
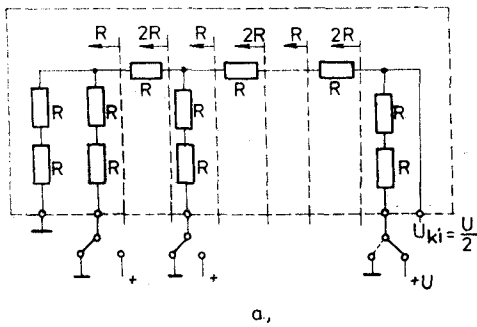
Az elmondottakból következik, hogy ha a létrahálózat nem  $+U$  és  $0$  potenciálú pontok közé, hanem  $+U/2$  és  $-U/2$  potenciálú pontok közé kötjük, akkor a létrahálózat kimeneti pontján  $0$  kimenőfeszültséget kapunk. Amennyiben a létrahálózat feszültségosztása nem pontos, úgy a kimeneten nem nulla feszültség jelenik meg, hanem a pontatlansággal arányos  $\pm \Delta U$  feszültség (2b. ábra).

Az eddigiek a legnagyobb helyértékű bit mérésére vonatkoztak. A kisebb helyértékű bit-ek mérésénél az a probléma, hogy a bit-ek-et alkotó ellenállások közvetlenül nincsenek kivezetve, a hibafeszültséget ( $\Delta U$ ) szolgáltató ponthoz csak a magasabb helyértékű bit-eket alkotó ellenállásokon keresztül lehet hozzáférni.

Alakítsunk ki olyan mérési algoritmust, melynél az egyes bit-ek mérését előírt sorrendben végezzük, nevezetesen a nagyobb helyértéktől a kisebb helyérték felé haladunk. A legnagyobb helyértékű bit-et



1. ábra. Egy ellenállás-létrahálózattal megvalósított  $D/A$  konverter vázlatos kapcsolása



2. ábra. A létrahálózat legnagyobb helyértékű bit-jének mérése

vizsgáljuk meg a már említett módon (2b. ábra). A kisebb helyértékű bit-re áttérve a már megmért bit keresztellenállásait nem  $+U/2$  vagy  $-U/2$  feszültségre, hanem „0” potenciálra kötjük. A mérési elrendezés a 3. ábra szerint alakul. Az ábráról látható, hogy a létrahálózat kimenetén a hibafeszültség fele,  $\frac{\Delta U}{2}$  jelenik meg. Gondolatban tovább ha-

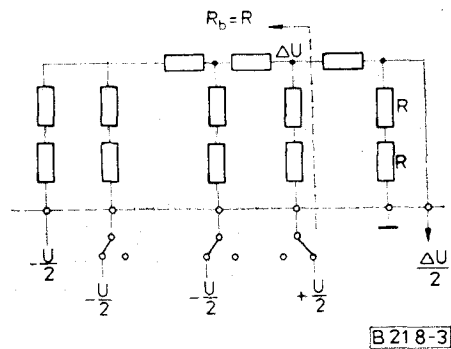
ladva az ábra szerint balra, a már megmért (és jó-nak talált) bit-ek keresztellenállásait rendre „0” potenciálra kötve a mindenkor hibafeszültség negye-de, nyolcada, tizenhatoda, stb. jelenik meg a ki-meneten. A hibafeszültség e bináris súlyozására szükségünk is van, hisz a kisebb helyértékű bit-ek a  $D/A$  átalakításban kisebb súllyal vesznek részt, így hibájuk is megfelelően nagyobb lehet. A mérőmű-szer így egyszerűbb lehet, nincs szükség a tolerancia-határok bit-enkénti átkapcsolására. A hiba bináris súlyozásán kívül itt halmozott hibát mérünk, de ez is megfelel az üzemi körülményeknek.

A mérési sorrendet betartva a már megmért bit-ek keresztellenállásait rendre „0” potenciálra kötve tehát a létrahálózat kimenetén a szükséges bináris súlyozású hibafeszültség jelenik meg, melyet fel-erősítve és kiértékelve a létrahálózat bit-jeinek feszültségosztása egyszerűen ellenőrizhető.

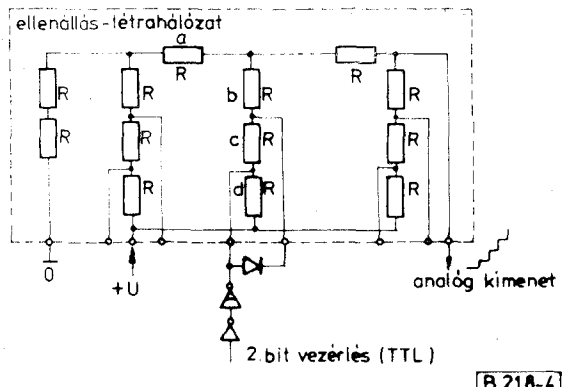
Az előbbieken vázolt mérési algoritmus minden további nélkül alkalmazható olyan ellenállás-létrahálózatok mérésére is, melyeknél a keresztágban há-rom ellenállás van. Ilyen létrahálózatot az elektro-nikus vezérlés miatt készítenek, a vezérlés módja a 4. ábrán látható egyetlen bit-re. Ebben az esetben a bit „igen” szintjét a  $b$  és  $d$  ellenállások, a „nem” szintet a  $b$  és  $c$  ellenállások határozzák meg. A mérési algoritmust most kétszer kell lefolytatni, a két mérés közt az 5. ábrán látható „bit szint” kapcsolót (minden bitnél) át kell kapcsolni.

### A mérőberendezés

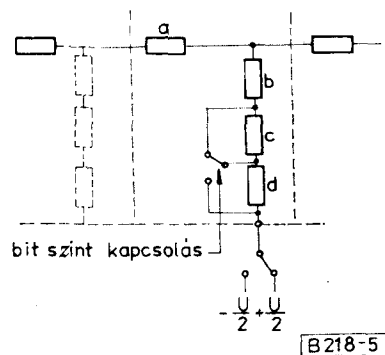
A mérési algoritmus birtokában a mérőberendezés igen egyszerűen építhető fel. A mérési sorrendet biztosítva csak azt kell minden egyes bit-nél figyelni, hogy a létrahálózat kimenetén a hibafeszültség egy adott értéket nem lép-e túl. Az ellenálláshálózatot tápláló  $+U$ ,  $-U$  feszültségforrások pontosságától függ elsősorban a mérés pontossága. A mérési hiba



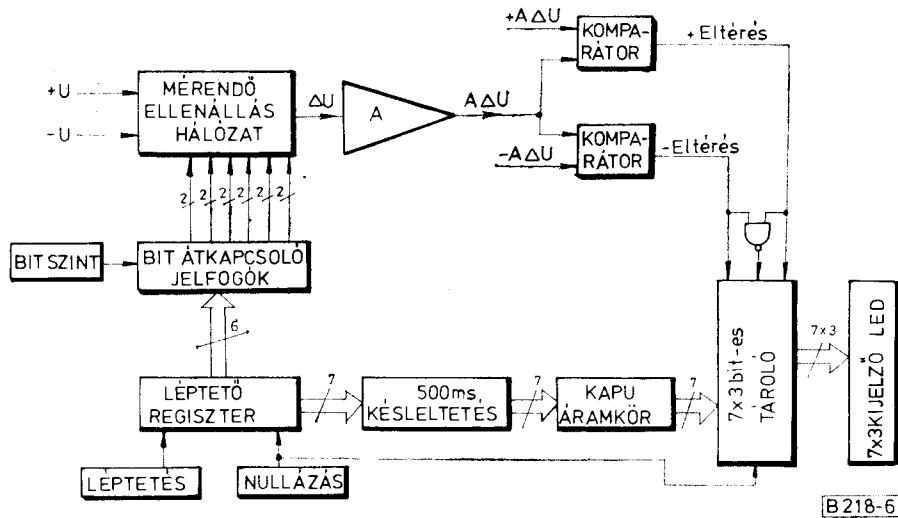
3. ábra. A legnagyobb helyértékű bit előtti bit mérése



4. ábra. Az ellenálláshálózat elektronikus vezérlése



5. ábra. A „bit-szint” kapcsoló működési elve



6. ábra. A mérőberendezés tömbvázlata

nagyságát első közelítésben nem a két feszültség nagysága, hanem egymáshoz viszonyított eltérése adja. Ezt az eltérést igen kis értéken lehet tartani egy 1:2 arányú feszültségsztó és egy invertáló erősítő segítségével. A feszültségsztó pontos osztásviszonyát két azonos — viszonylag jóminőségű — ellenállás hőhíddal történt összekötésével könnyen sikerült realizálni.

A 6. ábrán egy 7 bit-es ellenállás-létrahálózat félautomata ellenőrzését végző berendezés tömbvázlata látható. A mérési algoritmus betartásáért a léptető regiszter a felelős, melyet az előlapról csak egyirányba léptethetünk. Az egész mérés vezérlését ez a léptető regiszter végzi, melyet egyesekkel töltünk fel, és a bit átkapcsoló jelfogók sorban behúznak. A jelfogók alapállásában a legnagyobb helyértékű bit mérésére kapcsolnak, így hét bit mérésére hat vezérlőjelre van szükség.

A mérendő kimenetén megjelenik a hibafeszültség  $\Delta U$ , melyet az erősítő erősít  $A \cdot \Delta U$ -ra. Úgy a pozitív, mint a negatív toleranciahatár túllépést a komparátorok TTL „0”-szinttel jelzik. Ezt a jelet vezetjük a tárolóba mint adatjelet. Előállítunk azonban egy olyan harmadik adatjelet is, mely a névleges (toleranciahatáron belüli) állapot tárolását teszi lehetővé.

A tároló tehát minden bit-nél: a „névleges”, a „- eltérés”, a „+ eltérés” állapotot tárolhat. A tároló mindenkor tartalmát az előlapon elhelyezett  $3 \times 7$  LED jelzi ki.

A létrahálózat bit-jeinek átkapcsolásával párhuzamosan a tárolót is vezérelni kell. Gondoskodni kell azonban arról, hogy az átkapcsolás után a berendezés újból nyugalomba tudjon jutni. Ezt a célt szolgálja a 500 ms-os késleltetés. A léptető regiszter késleltetett jele közvetlen nem használható fel a tároló vezérlésére. A léptető regisztert ugyanis egyesekkel töltöttük fel. Ez azt jelenti, hogy a már megmért bit-ek helyén is ad vezérlést, így a már megmért bit-ek tárolt állapotát újból átírnánk. A tárolót vezérlő kapuáramkörök biztosítják azt, hogy mindig csak a soronkövetkező mérés tárolói kapjanak vezérlő impulzust.

A tárolt adatok törlése és a berendezés alapállapotba állítása (új mérés kezdése) a „Reset” utasítással (nyomógomb) történik.

A mérőberendezést üzemi körülmények között sorozatmérésekre használták. A több éves tapasztalat szerint mind kezelhetőség, mind megbízhatóság szempontjából teljesítette a hozzá fűzött reményeket. Teljesen automata üzemre történő kiegészítésére nem került sor.