Az iparban, a kereskedelemben és a közlekedésben, a haditechnikában és a tudományos kutatásban napról napra újabb és újabb számológépek kerülnek alkalmazásra. Ezeket működési alapelvük szempontjából két nagy csoportra szoktuk osztani. Az egyik csoportot *digitális számológépek*nek nevezik. Ezeket az jellemzi, hogy a velük közölt adatokat, számokat diszkrét, különálló jelek, állapotok alakjában veszik „tudomásul", és így is használják föl számításaikban. Így teszi ezt pl. a kisgyerekek által használt „számológép" is, vagy fejlettebb formájában a keleti országokban ma is használt számológép, az ún. abacus. Ezeken pl. a 3-as számot három különálló golyóval ábrázoljuk.

A számológépek másik csoportját az ún. *analóg számológépek* alkotják. Ezek a velük közölt adatokat, számokat folytonos fizikai mennyiségekkel, pl. hosszúsággal, feszültséggel, áramerősséggel ábrázolják. Tehát pl. a 3-as számot az ilyen gépekbe úgy adjuk be, mint 3 cm elmozdulást, vagy 3 V feszültséget, vagy 3 A áramerősséget.

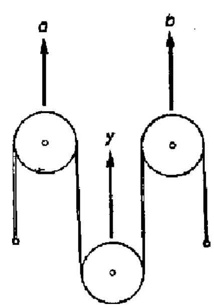
A két fajta számológép számolási eljárását talán egy példával lehet a legjobban megvilágítani. – Meg akarjuk tudni, hogy mennyi $\sqrt{75}$. Kiszámíthatjuk pl. írásban a négyzetgyökvonás ismert szabályai szerint. Kapjuk, hogy $\sqrt{75} = 8{,}66025\ldots$ Az eredmény pontosságának csak a türelmünk, vagy a célszerűség szab határt. Hasonló a helyzet a digitális számológépeknél. A számítás pontosságának csak a gép nagysága (költsége!) szab határt. – Úgy is megtudhatjuk azonban, hogy mennyi $\sqrt{75}$, hogy egy logarléc négyzetes skáláján a 75-re toljuk a léc tolókáján levő finom karcolást, és az alapskálán leolvassuk a karcolás állását. A leggyakorlottabb számoló sem merne azonban ezzel az eljárással a $\sqrt{75}$ -re többet mondani, minthogy az kb. 8,66.

Ennél az eljárásnál a számokat távolságokkal helyettesítettük. Az elérhető pontosságnak nagyon is határt szab a leolvasás pontossága. – A gyakorlati élet szempontjából azonban ez a pontosság legtöbbször elegendő. Ez a magyarázata annak, hogy annyira kedvelik a logarlécet, és hogy annyira terjed manapság az analóg számológépek használata.

Látjuk az előzőkből, hogy a logarléc végeredményben analóg számológép. Ugyanezt kimutathatnánk a mindennapi élet és a technika számos közismert eszközéről. A villanyóra forgó korongjának sebessége pl. függvénye a feszültségnek és az általunk igénybevett áramerősségnek. Tehát pl. az egy hónap alatt megtett fordulatok száma arányos az áram egy hónapi munkájával. A leolvasás pontossága nem lényeges, mert az esetleges többlet vagy hiány egyszerűen áttevődik a következő hónapra. A villanyóra tehát lényegében egy eléggé bonyolult analóg számológép. – Az autó sebességmérőjének kitérése a kerék 1 mp-re eső fordulatszámának függvénye, de az 1 mp alatt megtett út, tehát az autó sebessége is. Tehát jogosan írhatjuk a mutató kitérését jelző beosztások mellé a megfelelő sebességeket. Ez is analóg számológép. Ugyanezt mondhatjuk az autótaxik viteldíjszámlálójáról, a vízóráról, a gázóráról stb.

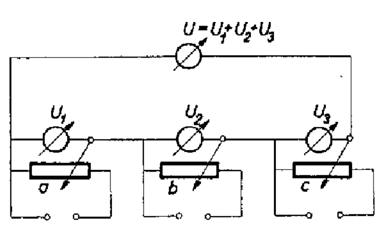
Egyszerű analóg számológépek

Nézzük meg, hogy hogyan lehet néhány egyszerű fizikai eszközt az alapműveletek elvégzésére fölhasználni. Ezek az egyszerű eszközök egyúttal a bonyolultabb analóg számológépek építőelemei.



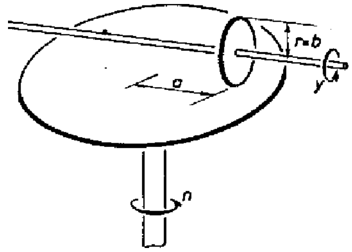
1. ábra. Elmozdulások összegezése: $y = a + b$

Az 1. ábrán három csigát látunk. A fonál két vége rögzített. Ha a két szélső csiga bármelyikét emeljük vagy süllyesztjük, a középső csiga ugyanannyit emelkedik vagy süllyed. Ha mindkét csigát elmozdítjuk, és a felfelé való elmozdulásnak pozitív, a lefelé való elmozdulásnak negatív előjelet tulajdonítunk, akkor a középső csiga elmozdulása a másik két csiga elmozdulásának előjeles összegét adja. Az ábrán vagy jelekben sokkal egyszerűbb ez, mint szavakban: $y = a + b$. Ez a három csigából álló egyszerű eszköz tehát végeredményben egy analóg összeadó-kivonó gép. – Ha nem a két fonálvéget, hanem a két szélső csigát rögzítjük, és a fonálvégek elmozdulását jelöljük a-val és b-vel, akkor a középső csiga elmozdulása a következő, már kissé bonyolultabb függvény szerint történik: $y = \frac{a+b}{2}$.



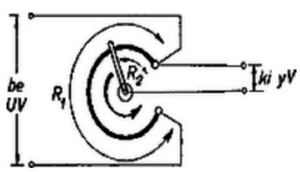
2. ábra. Elektromos összeadó-kivonó gép

Ha több, egymástól független áramforrás áll rendelkezésünkre, akkor elektromos összeadó-kivonógépet készíthetünk pl. a 2. ábra alapján. Működésének alapja az a közismert fizikai törvény, hogy a sorbakapcsolt feszültségek összegeződnek. Az egyes összeadandókat tehát az a, b, c potenciométereken állítjuk be. Az összeget (az eredő feszültséget) pedig az M műszeren olvashatjuk le. Ha valamelyik összeadandó negatív, akkor a megfelelő feszültségforrást ellentétes polaritással kapcsoljuk. Ha mérőműszerünk fogyasztása kicsi, akkor az sem lényeges, hogy ha a használt áramforrások nagy belső ellenállásúak.



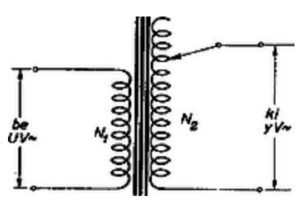
3. ábra. Egyszerű mechanikus szorzó-osztó. $y = \frac{a}{b} \cdot n = k \cdot n.$

Szorzás-osztás mechanikusan pl. a 3. ábrán levő egyszerű összeállítással végezhető. A korong forgatásakor a kerék is forog. Ha a kerék távolsága a kör középpontjától (a) pl. kétszer akkora, mint a kerék sugara (b), akkor amíg a korong egyet (vagy általában n-net) fordul, azalatt a kerék kettőt (vagy általában $2n$-et). Általánosságban: $y = \frac{a}{b}n = k \cdot n$. Ha a kereket elég közel visszük a korong középpontjához, akkor k egynél kisebbé is tehető. Tehát egyszerű eszközünkkel osztani is lehet. Ha pedig a forgás irányának előjelet is tulajdonítunk, akkor a kereket a középponttól balra vive a negatív számmal való szorzás és osztás is értelmezhető.
– Ezt az egyszerű berendezést mechanikus számológépeken bonyolultabb műveletek végzésére is használják. Sebességváltóként pedig a fokozat nélküli sebességváltás előre-hátramenetben egyaránt megvalósítható vele.



4. ábra. Potenciométeres osztó (szorzó). $y = \frac{R_2}{R_1}U = k \cdot U.$

Elektromos úton a szorzást-osztást többféleképpen is megvalósíthatjuk. A 4. ábra pl. egy egyszerű potenciométeres osztót (szorzót!) mutat be. A potenciométer érintkezőjéről és az egyik végéről levehető feszültség (y) nyilván a bemenőfeszültséggel (U) és a megcsapolt rész és az egész potenciométer ellenállásának a hányadosával (R_2/R_1) arányos: $y = \frac{R_2}{R_1} \cdot U = k \cdot U$. Hátránya ennek az egyébként sokszor használt eljárásnak az, hogy a k csak egynél kisebb lehet.

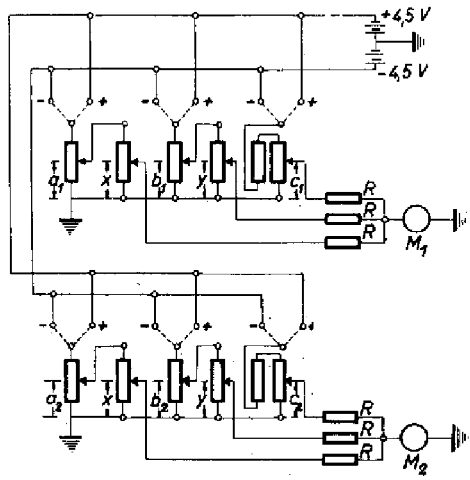


5. ábra. Transzformátoros szorzó-osztó.$y = \frac{N_2}{N_1} = k \cdot U.$

Ezt a hátrányt küszöböli ki a váltóárammal működő transzformátoros szorzó, az ún. toroid transzformátor. Ez lényegében egy olyan transzformátor, melynek a szekundér menetszáma változtatható (5. ábra). A gyakorlati kivitelben a vasmag gyűrű alakú. Erre tekercselik először az állandó menetszámú primér tekercset. Majd efölé egy rétegben a szekundér tekercset. Az egyik oldalon a szekundér menetekről a szigetelést lecsiszolják, és a potenciométerhez hasonlóan egy csúszó érintkezőt szerelnek rá. Így a szekundér menetek száma, és így a kimenő feszültség is változtatható. Nyilván: $a = \frac{N_2}{N_1} \cdot U = k \cdot U$, ahol U a bemenő feszültség, N_1 a primér N_2 pedig a szekundér menetek száma, y pedig a kimenő feszültség.

Látjuk tehát, hogy akárhány egyszerű technikai eszközünk lényegében számológép, csak eddig nem is gondoltunk rá. A felsorolást és leírást szinte vég nélkül folytathatnánk. E helyett inkább leírunk egy általunk már megépített, az előzőknél kissé bonyolultabb analóg számológépet, mely középiskolás probléma: kétismeretlenes elsőfokú egyenletrendszer megoldására alkalmas. Aránylag kis költséggel megépíthető, és igen tanulságos. Potenciométeres analóg számológépnek nevezzük.

A.) „A n a l ó g P" l e í r á s a

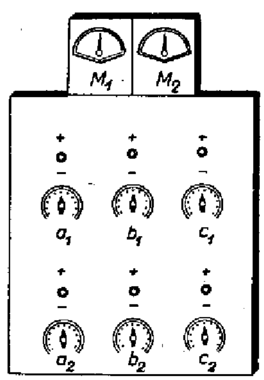


6. ábra. „Analóg P" potenciométeres analóg számológép kapcsolási rajza. Az

$$\left.\begin{aligned} a_1x + b_1y + c_1 = 0 \\ a_2x + b_2y + c_2 = 0 \end{aligned}\right\}$$

kétismeretlenes egyenletrendszer elsőfokú megoldására alkalmas.

A 6. ábrán láthatjuk az elvi kapcsolási rajzot. 6 váltókapcsoló, 10 lineáris huzalpotenciométer, 8 ellenállás, 2 műszer szükséges hozzá, és 2 zseblámpaelem mint áramforrás. A mi összeállításunk adatai: a_1 b_1 c_1 a_2 b_2 c_2 100 ohmos $^1/_2$ wattos huzalpotenciométerek. Az x és y 1500 ohmos 3 wattos huzalpotenciométer. A két x ill. a két y potenciométer közös, szigetelő anyagból készült tengelyen van. Házilag szereltük őket össze, mert ilyen nálunk nem kapható. A c_1 ill. c_2 előtétellenállásai 900–900 ohmosak. A hat „összeadó" ellenállás (R) 3–3 ohmos. A műszerek 1/2 mA végkitérésű egyenáramú középállásos műszerek. – A gép elrendezése a 7. ábrán látható.



7. ábra. Az „Analóg P" elölnézeti rajza.

M ű k ö d é s é n e k m a g y a r á z a t a

Legyen a megoldandó egyenletrendszer:

$$2x + \ y - 8 = 0.$$
$$- x + 4y - 5 = 0.$$

Az egyenlet gyökei nyilván $x = 3$ és $y = 2$. Hozzuk először az egyenleteket olyan alakra, hogy a legnagyobb együttható állandó 1 legyen. Ez minden egyenletrendszerrel megtehető. Végigosztjuk az egyenleteket a bennük szereplő legnagyobb számmal. A jelen esetben az elsőt 8-cal, a másodikat 5-tel. Kapjuk:

$$\begin{aligned} 0{,}25x + 0{,}125y - 1 &= 0. \\ -0{,}2x + \ \ 0{,}8y - 1 &= 0. \end{aligned}$$

Tegyük fel most az egyszerűség céljából, hogy áramforrásunk a földhöz képest +1 V ill. −1 V feszültséget ad. Akkor az a_1 potenciométert az x együtthatójára állítva – a végkitérést vesszük 1-nek – arról 0,25 V feszültség fog csak tovább menni. Ugyanígy a b_1 potenciométerről 0,125 V. Ha most az x és az y potenciométer éppen a gyökökön, a 3-on ill. 2-n állnak – a végkitérést 10-nek véve – akkor az x potenciométerről 0,25, 0,3, 0,075 V megy az „összegzőbe", az y potenciométerről pedig 0,125, 0,2, 0,025 V. Ha most a c_1 potenciométert – a végkitérést egynek véve – a mínusz 1-re állítjuk, akkor erről a kilencszer akkora előtét-ellenállás miatt −0,1 V fog menni az összegezőbe. Ezek hatására az összegező közös vezetékén a feszültség a Földhöz képest éppen nulla lesz. Tehát az U_1 műszer nem jelez áramot. (L. a megfelelő versenyfeladatot !) – A második egyenletet képviselő alsó fokozat ugyanígy működik. Ha az x és y potenciométerek nem állnak a gyökökön, akkor a két műszer áramot jelez. A gyökök megkeresése tehát az együtthatók és konstansok „beadása" után úgy történik, hogy az x és y potenciométereket addig forgatjuk, amíg mindkét műszer egyidejűleg a nullára nem áll. Ha valamelyik gyök negatív, ezt egyenletmegoldó gépünk úgy jelzi, hogy az x és y potenciométerek semmilyen helyzetében nem állnak be a műszerek egyszerre nullára. Ekkor az x-es tagok vagy az y-os tagok előjeleit egyszerre átváltva a negatív gyököket is megkaphatjuk.

Egyenletmegoldó gépünk természetesen összeadó-kivonó ill. szorzó-osztó gépnek is tekinthető. Ha az a_1-et és b_1-et 1-re (0,1-re !) állítjuk, akkor az x ill. y potenciométereken beadott számok összegét a c_1 potenciométerrel kereshetjük meg. Természetesen az összeadandó pozitív vagy negatív előjelűek egyaránt lehetnek. Ezzel a módszerrel történik a kész gép „bejátszása" is. – A b_1 potenciométert nullára állítva az a_1 és az x potenciométereken beadott számok szorzatát a c_1 potenciométerrel kereshetjük meg. Az osztandót a c_1-en, az osztót az a_1-en beállítva a hányados az x potenciométerrel kereshető. – Tanulságos gépünk abból a szempontból is, hogy csak egy kétismeretlenes egyenlet együtthatóira beállítva szépen mutatja, hogy azt végtelen sok gyökpár kielégíti, de nem akármilyen számpár. Mindkét egyenletet azonban általában már csak egy.

Gépünk elvileg is pontatlan. Pl. az a_1 potenciométert a skála felére beállítva onnan csak akkor menne a feszültségnek is a fele tovább, ha nem terhelnénk egyúttal. Ez potenciométer-hálózatok esetén nem érhető el. A potenciométerek bizony „elhúzzák" egymást. Ezt az elhúzást azzal igyekeztünk csökkenteni, hogy az x potenciométerek ill. az R ellenállások lényegesen nagyobbak, mint az a potenciométerek. A pontatlanságot még az is növeli, hogy a használt potenciométerek nem egyformák még válogatás esetén sem. – A hibák nagy részét elektroncsövek alkalmazásával az ún. elektronikus analóg számológépek kiküszöbölik. Ezek ismertetése azonban most messze vezetne.

Kovács Mihály